



José Tomás Gonçalves Ferreira

Licenciado em Engenharia Geológica

Relatório de atividade profissional: A engenharia geológica em escavações subterrâneas

Relatório nos termos do Despacho 20/2010 para obtenção do grau de
Mestre por Licenciados pré-Bolonha

Supervisora: Prof. Doutora Eng.^a Paula F. da Silva, FCT/UNL

Júri:

Presidente: Doutor Pedro Calé da Cunha Lamas, Prof. Auxiliar – FCT/UNL

Vogais: Doutor José António de Almeida, Prof. Associado – FCT/UNL
Doutora Paula Fernandes da Silva, Prof. Auxiliar – FCT/UNL

Março, 2017

Relatório atividade profissional: A engenharia geológica em escavações subterrâneas

Copyright ©2017. José Tomás Gonçalves Ferreira, Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT), Universidade Nova de Lisboa (UNL)

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos de admitir a sua distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

AGRADECIMENTOS

Cumpre-me agradecer:

- à Professora Paula F. da Silva, pelo seu apoio e supervisão na realização deste relatório.
- à minha empresa EPOS, pela confiança demonstrada e pela oportunidade neste difícil mercado de trabalho;
- à minha família, pelo apoio que me deu durante toda a minha vida, e à minha namorada, pela sua ajuda e apoio, apesar da distância que nos separa.

“The only way to do great work is to love what you do. If you haven’t found it yet,
keep looking. Don’t settle.”

– Steve Jobs

RESUMO

O presente relatório de atividade profissional foi realizado para a obtenção do Grau de Mestre por Licenciados pré-Bolonha em Engenharia Geológica ao abrigo do Despacho nº20/2010 e descreve o percurso profissional do Engenheiro José Tomás Gonçalves Ferreira.

Inclui um breve resumo da sua formação académica, descrevendo a sua experiência profissional com mais de dez anos, em escavações subterrâneas. Durante este tempo o autor percorreu Portugal, incluindo a ilha da Madeira, e também abraçou importantes projetos no estrangeiro.

Neste relatório foram escolhidos três grandes projetos mais relevantes para serem detalhados, incluindo uma breve descrição de cada deles e contemplando a sua localização geográfica e um pequeno enquadramento geológico, bem como os detalhes dos principais objetivos e tarefas realizadas pelo autor em cada um. Mencionam-se ainda as dificuldades e os condicionalismos das escavações subterrâneas, bem como a necessidade de autoaprendizagem e de liderança perante situações novas, no contexto de ambientes multiculturais, que conduziram a um enriquecimento técnico e uma visão necessária para suplantar as maiores adversidades.

Finalmente, tecem-se algumas considerações sobre as competências adquiridas pelo autor e a sua evolução profissional.

Palavras-chave: Atividade profissional, Engenharia Geológica, Escavações subterrâneas

ABSTRACT

This report of professional activity was carried out to obtain the Master's Degree by pre-Bologna graduates in Geological Engineering and covers the professional activities of the Engineer José Tomás Gonçalves Ferreira.

It includes a brief summary of his academic background, and describes his more than ten years' experience in underground works. During this time, the author worked all around of Portugal, including the island of Madeira, and also embraced important projects abroad.

As it is not possible to include everything in this report, three major engineering projects were chosen. For each of them, a brief description contemplating its geographic and geological setting are included, as well as the details of the main objectives and tasks carried out by the author's in each one. The difficulties and constraints of underground works are put forward, as well as the author's needs for self-learning and leadership in the scope of new situations, in multicultural situations, that allowed him to achieve a technical enrichment and the necessary vision to overcome his greatest professional adversities.

Finally, some considerations are made about the author's skills and professional development.

Keywords: Professional activity, Geological Engineering, Underground works

ÍNDICE DE TEXTO

AGRADECIMENTOS.....	II
RESUMO	III
ABSTRACT	IV
ÍNDICE DE TEXTO	V
1. INTRODUÇÃO	- 1 -
1.1 Objetivos	- 1 -
1.2 Formação académica.....	- 1 -
1.3 Formação complementar	- 2 -
1.4 Organização do relatório.....	- 3 -
2. ATIVIDADE PROFISSIONAL.....	- 5 -
2.1 Breve enquadramento da EPOS.....	- 6 -
2.2 Projeto Aljustrel - Desenvolvimento Mineiro, 2006 / 08	- 7 -
2.2.1 Enquadramento geográfico e geológico	- 8 -
2.2.2 Principais atividades e metodologias.....	- 9 -
2.3 Túnel do Marão, Auto Estrada do Marão A4/IP4 – Amarante/Vila Real	- 20 -
2.3.1 Enquadramento geográfico e geológico	- 21 -
2.3.2 Principais atividades e metodologias.....	- 22 -
2.4 Aproveitamento hidroelétrico de Laúca (Angola): execução dos condutos forçados e poços.....	- 36 -
2.4.1 Enquadramento geográfico e geológico	- 36 -
2.4.2 Principais atividades e metodologias.....	- 37 -
2.4.3 Outros aspetos.....	- 49 -
3. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	- 51 -
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	- 53 -
WEBLIOGRAFIA	- 53 -

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Cacém: aspetos da empreitada de beneficiação e extensão para norte do parque urbano, respetivamente da esquerda para a direita, a execução de estacas moldadas, de um muro tipo Munique e de trabalhos em suspensão para colocação de redes amarradas	- 1 -
Figura 2 - Localização da Mina de Aljustrel	- 8 -
Figura 3 – Coluna estratigráfica de Aljustrel	- 9 -
Figura 4 – Entrada da rampa da Mina de Feitais.	- 10 -
Figura 5 - Ciclo da escavação subterrânea.	- 11 -
Figura 6 - Jumbo de furação de dois braços	- 13 -
Figura 7 - Aço de furação	- 13 -
Figura 8 - Alguns esquemas de sustimento usados nas Minas das Pirites Alentejanas	- 15 -
Figura 9 - Robolt de sustimento	- 16 -
Figura 10 - Máquina de transporte de betão	- 17 -
Figura 11 - Unidade automatizada de projeção de betão.	- 17 -
Figura 12 - Oficina de fundo da Mina do Moinho.	- 18 -
Figura 13 - Pá carregadora mineira	- 19 -
Figura 14 - Operação de carregamento de um dumper.	- 20 -
Figura 15 – Localização do Túnel do Marão	- 21 -
Figura 16 – Infografia de um extrato da carta geológica de Portugal, folha 10C, escala 1:50000, com implantação do alinhamento do túnel do Marão	- 22 -
Figura 17 – Vista do emboquilhamento nascente do Túnel do Marão	- 23 -
Figura 18 – Aspeto do chapéu de enfilagens	- 24 -
Figura 19 - Túnel falso.	- 25 -
Figura 20 - Aspetos do processo de escavação adotado	- 26 -
Figura 21 - Jumbos electro-hidráulicos no túnel do Marão	- 26 -
Figura 22 - Planos de fogo tipo usado no Túnel do Marão.	- 28 -
Figura 23 - Carregamento da frente de trabalho com explosivo.	- 29 -
Figura 24 - Manga de ventilação,	- 30 -
Figura 25 – Dumper Volvo A40D	- 31 -
Figura 26 – Equipa de topografia a realizar trabalho no campo e no gabinete	- 31 -
Figura 27 – Equipa de geologia a assinalar as descontinuidades mais relevantes	- 32 -
Figura 28 - Projeção de betão em galeria	- 32 -
Figura 29 - Secções de convergência utilizadas	- 34 -
Figura 30 - Separação dos resíduos em obra.	- 34 -
Figura 31 – Aspeto das etapas de tratamento em funcionamento na ETAR	- 35 -
Figura 32 - Localização de Ah - Laúca.	- 36 -
Figura 33 - Perfis geológicos do Ah - Laúca.	- 37 -
Figura 34 – Esboço do projeto de execução dos túneis e poços, sem escala	- 38 -
Figura 35 - Maciço em betão para a Raise borer.	- 39 -
Figura 36 - Furação do furo piloto por Raise boring	- 40 -
Figura 37 - Transporte da cabeça escarificadora e sua fixação à haste	- 40 -
Figura 38 - Alargamento do furo com a Raise Borer	- 41 -
Figura 39 - Sistema de elevação de pessoas (pórtico)	- 41 -
Figura 40 - Pega de fogo tipo para os poços	- 42 -
Figura 41 - Equipamento de furação usado nos poços	- 43 -
Figura 42 - Mini-giratória usada para a remoção do escombro	- 43 -
Figura 43 – Aspetos da projeção de betão nos poços	- 44 -
Figura 44 – Traçado em planta dos túneis (sem escala)	- 45 -
Figura 45 - Jumbo de furação Atlas W3C.	- 46 -
Figura 46 - Plano de fogo tipo nos túneis de adução do Ah - Láuca.	- 47 -
Figura 47 - Limpeza do escombro usando dumpers e pás Volvo	- 48 -
Figura 48 - Sustimento tipo aplicado nos túneis de adução da Láuca	- 48 -

Figura 49 - Unidade automatizada para de projeção	- 49 -
Figura 50 - Vista do estaleiro social do Ah-Laúca.	- 50 -

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.2 - Formação complementar realizada	-3-
Tabela 2.1 - Síntese do percurso profissional.	-5-

1. INTRODUÇÃO

1.1 Objetivos

Este relatório tem por base evidenciar as capacidades técnicas que foram adquiridas pelo autor ao longo de dez anos em projetos de engenharia desenvolvidos em subterrâneo, de modo a obter o Grau de Mestre em Engenharia Geológica para Licenciados pré-Bolonha ao abrigo do Despacho nº10/2010 na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade NOVA de Lisboa (FCT NOVA).

Durante este período o autor teve a oportunidade de trabalhar na Empresa Portuguesa de Obras Subterrâneas, S.A. – EPOS, em projetos importantes em Portugal e também no estrangeiro, o que tornou a sua experiência profissional ainda mais enriquecedora. Relata-se ainda a sua evolução profissional e a sua maior capacidade em adquirir responsabilidades para que, dessa forma, pudesse contribuir com o seu esforço e engenho para obter os melhores resultados em termos produtivos nas obras em que esteve envolvido.

Visto estar ligado à parte da produção e sendo complicado enquadrar todos os projetos em que esteve envolvido, apenas se mencionam com mais detalhe neste relatório três empreitadas que, apesar de todas as adversidades, foram realizadas com resultados que se consideram excelentes.

1.2 Formação académica

O autor concluiu o curso de 5 anos, a Licenciatura em Engenharia Geológica (LEG), em dezembro de 2005, na FCT NOVA. No âmbito da unidade final de Estágio Curricular, realizou um estágio na empresa TECNASOL FGE, Fundações e Geotecnia, S.A., no período de Janeiro a Abril de 2005. Este estágio desenrolou-se no Cacém, concelho de Sintra, e nele teve a possibilidade de acompanhar os trabalhos de construção civil do “Projeto de beneficiação e extensão para norte do parque urbano – Programa Polis” - Figura 1.



Figura 1 - Cacém: aspetos da empreitada de beneficiação e extensão para norte do parque urbano, respetivamente da esquerda para a direita, a execução de estacas moldadas, de um muro tipo Munique e de trabalhos em suspensão para colocação de redes amarradas

Neste contexto, assistiu a um conjunto de empreitadas de diferentes especialidades da Geotecnia que englobaram:

- a estabilização de taludes, por colocação de malha de aço de elevada resistência amarrada com cabos de aço e pregada,
- a execução de fundações indiretas por estacas moldadas, e
- a implementação de contenções, através da construção de um muro tipo “Munique”.

1.3 Formação complementar

Em Novembro de 2006, o autor iniciou a sua atividade profissional na Empresa EPOS – Empresa Portuguesa de Obras Subterrâneas, S.A., empresa líder na execução de empreitadas de trabalhos subterrâneos das mais diversas naturezas.

O autor progrediu na sua carreira de engenheiro, completando vários cursos, apresentações, palestras, que contribuíram para o seu contínuo desenvolvimento profissional. Algumas das atividades mais relevantes estão listadas na Tabela 1.2.

Os meios utilizados para a escavação de um túnel podem ser mecânicos ou com recurso a explosivos. Naturalmente o uso de explosivos é muito restrito, sendo necessário obter a licença de operador de explosivos para se poder manusear e realizar planos de fogo. Essa licença foi obtida pelo autor junto da Policia de Segurança Pública – Direção Nacional, em 2008.

A componente de segurança é fundamental numa obra de engenharia, mas é muito mais relevante numa obra subterrânea devido aos seus condicionalismos, tendo o autor tido a necessidade de frequentar várias formações/palestras sobre esta temática. Algumas dessas formações, davam maior ênfase ao ambiente mineiro, como por exemplo a relativa ao “fator chave”, evidenciando os riscos maiores de segurança devido aos processos de produção mineira. Esta formação foi realizada na Somincor-Sociedade Mineira de Neves Corvo e teve a duração de 40 h.

Em relação à obra civil, é por vezes necessário pelo dono de obra, a realização de cursos de segurança denominados de “Passaporte de Segurança”, como no caso das empreitadas da EDP. Estes cursos são realizados pelo Instituto de Soldadura e Qualidade - ISQ, e neles são apresentados casos de boas práticas de segurança em obras públicas e têm a duração de 14 h.

Foi na Empresa EPOS, que fez o Estágio Formal para se tornar membro efetivo da Ordem dos Engenheiros, que obteve a acreditação no Colégio de Engenharia Geológica e de Minas, onde está inscrito como membro nº 61.702, na região sul desde 2010. No relatório apresentado efetua a caracterização de métodos de construção aplicados a obras subterrâneas, tendo por base de estudo a empreitada da Auto Estrada do Marão A4/IP4 – Amarante/Vila real – Túnel do Marão, na cidade de Vila Real, concelho de Vila Real.

Tabela 1.2 – Formação complementar realizada

Formação realizada	Datas	Entidade formadora
Utilização de Aparelhos Respiratórios	22-04-2013 (8h)	Bombeiros Voluntários de Vieira do Minho
BMAC e RPONTO	08-11-2012 (3,5 h)	Teixeira Duarte
Formación preventiva para el desempeño de los puestos de operador de arranque/carga y operador de perforación/voladura; picador, barrenista y ayudante minero, en actividades extractivas de interior según los contenidos formativos de la Orden ITC/131/2008	22-10-2012 a 24-10-2012 (20 h)	Formastur
Acolhimento	13-03-2012 (2 h)	Construsalamonde
Encontro de Quadros da Construção	14-10-2011 (2,5 h)	Teixeira Duarte
Sistema de Gestão da Informação ACONEX	20-09-2011 (3 h)	ACONEX
Passaporte de Segurança	04-08-2011 a 05-08-2011 (14 h)	BUREAU VERITAS
Sensibilização à Responsabilidade Social - requisitos da SA 8000	28-06-2011 (1,5 h)	EPOS – Empresa Portuguesa de Obras Subterrâneas
Preenchimento dos impressos associados ao Plano de Gestão de Qualidade em vigor na Empreitada e em conformidade com o definido nos respetivos PIE's	27-01-2010 (3 h)	EPOS – Empresa Portuguesa de Obras Subterrâneas
Formação para Técnicos - Introdução aos métodos de exploração	De 12-01-2008 a 13-01-2008 (20 h)	EPOS – Empresa Portuguesa de Obras Subterrâneas
Indução de Segurança	De 05-02-2007 a 09-02-2007 (40 h)	Somincor – Sociedade Mineira de Neves Corvo
O Factor Chave	De 24-01-2007 a 25-01-2007 (8 h)	Somincor – Sociedade Mineira de Neves Corvo
Passaporte de Segurança	De 11-12-2006 a 12-12-2006 (14 h)	ISQ - Instituto da Soldadura e Qualidade
Transmitir aos participantes a política de segurança das Pirites Alentejanas, S.A.	06-11-2006 (3 h)	Pirites Alentejanas
Sessão de Acolhimento / Inicial	06-11-2006 (4 h)	EPOS – Empresa Portuguesa de Obras Subterrâneas

1.4 Organização do relatório

O presente documento está organizado em três capítulos.

José Tomás Gonçalves Ferreira
RELATÓRIO DE ATIVIDADE PROFISSIONAL

No primeiro, para além da descrição dos objetivos, inclui-se a caracterização sumária das atividades de formação complementar ligadas à geotecnia e à segurança em obras de engenharia que se iniciaram ainda durante o último ano da LEG e se prolongaram pela sua atividade profissional na EPOS.

No segundo, para além de uma síntese da atividade desenvolvida e da breve caracterização da empresa EPOS, onde se integrou desde o início da sua atividade, detalham-se três empreitadas onde desenvolveu atividades consideradas mais relevantes no âmbito do seu percurso profissional.

Finalmente sintetizam-se as principais competências adquiridas pelo autor e a sua evolução profissional.

Complementam este relatório a lista das referências citadas. Todas as imagens cuja fonte não é explicitada, são da responsabilidade do autor.

2. ATIVIDADE PROFISSIONAL

A atividade profissional do autor teve início em novembro de 2006, nas minas de Aljustrel, ao serviço da EPOS – Empresa Portuguesa de Obras Subterrâneas, S.A., como Engenheiro Geólogo estagiário no departamento de produção. Tendo obtido experiência suficiente e demonstradas qualidades de liderança em obra, ficou responsável pela produção da Mina de Feitais, até ao *lay-off*, em 2008.

De seguida, o autor acompanhou uma obra na Ilha da Madeira, onde estudou e aprendeu métodos de impermeabilização de túneis e também acompanhou as betonagens que eram aplicadas no interior dos túneis e suas condicionantes.

A sua primeira experiência internacional aconteceu em Janeiro de 2012, onde foi destacado para a Argélia, e se deparou com um ambiente multicultural que não estava habituado e compreendeu as dificuldades que acarretam realizar uma obra no estrangeiro. Mas por outro lado, é também uma atividade muito gratificante, pois são estes desafios que o fizeram crescer como engenheiro e como pessoa.

Ao longo destes dez anos, o autor participou em projetos realizados de norte a sul de Portugal e no estrangeiro, enriquecendo a sua experiência profissional em obras subterrâneas – Tabela 2.1.

Apesar das competências adquiridas pelo autor e sua sempre constante atualização de conhecimentos, por auto-aprendizagem, bem como a aquisição de novas competências no âmbito da engenharia, a falta de obras em Portugal e no estrangeiro, tornou complicada a sua progressão na carreira, pois as chefias na EPOS eram relativamente novas, o que impossibilitou que houvesse uma oportunidade para o autor chefiar, por si só, uma empreitada.

Nas secções seguintes descrevem-se por ordem cronológica três desses projetos, dois em Portugal e um em Angola, em que o autor esteve envolvido, bem como as responsabilidades assumidas em cada um deles. Previamente, caracterizam-se as atividades da empresa EPOS, onde desenvolveu sempre a sua atividade profissional.

Tabela 2.1 – Síntese do percurso profissional

Período	Função	Obra/Projecto
06/05/2014 a 01/05/2016	Diretor de Obra Adjunto	Barragem Aproveitamento Hidroelétrico Laúca - Angola
01/05/2013 a 01/05/2015		Mina Somincor – Planeamento Mineiro – Castro Verde.
08/01/2013 a 08/04/2013	Diretor de Obra	Trabalhos de reabilitação rampa da Mina de Aguablanca em El Real de la Jara (Sevilha).
20/09/2012 a 30/12/2012	Diretor de Obra Adjunto	Subempreitada de escavação subterrânea Foz Tua
05/06/2012 a 20/09/2012		Metro de Argélia: Métro de Álger – Ligne 1 Extension A
02/03/2012 a 01/06/2012		Empreitada geral da construção do reforço de Potência Hidroelétrico de Salomonde – Salomonde II.
01/09/2011 a 01/03/2012		Escavação e Contenção dos Túneis de Derivação Provisória e Túneis de Acesso da Barragem de Foz Tua – Aproveitamento Hidroelétrico de Foz Tua.
01/06/2009 a 30/08/2011		Túnel do Marão.
03/01/2009 a 01/05/2009		Empreitada da Construção da Via Expresso Ribeira de S. Jorge /Arco de São Jorge – 1ª Fase.
06/11/2006 a 31/12/2008		Projeto de Aljustrel – Desenvolvimento Mineiro.

2.1 Breve enquadramento da EPOS

A EPOS – Empresa Portuguesa de Obras Subterrâneas, S.A. é uma empresa líder na execução de grandes empreitadas de trabalhos subterrâneos das mais diversas naturezas, detentora de ampla experiência neste tipo de obras.

Fundada em 1986, rapidamente se afirmou como empreiteiro especialista na sua área. Hoje, mais de vinte anos volvidos, a EPOS é reconhecida no mercado pela elevada tecnologia dos seus meios de produção, tanto humanos como de equipamentos, e a sua aposta permanente na qualidade, patente na qualidade das obras realizadas, na segurança, na sua equipa, na vanguarda tecnológica, no respeito pelo meio ambiente e pela responsabilidade social, assim como numa melhoria contínua da sua rentabilidade, garante da satisfação de clientes, acionistas e investidores. (www.epos.pt)

É uma empresa que procura sempre a melhor solução técnica tendo em vista a economia, segurança e qualidade. Para isso aposta em pessoas com qualificações e tem uma grande abertura em relação à utilização de novas técnicas, algumas pioneiras na sua utilização a nível nacional.

No seu “portfolio” inclui empreitadas em desenvolvimento mineiro, salientando-se a Mina da Somincor onde se encontra há mais de 30 anos. Salienta-se também a construção dos mais importantes túneis rodoviários e ferroviários de Portugal, como a participação em empreitadas em obra subterrâneas hidráulicas nomeadamente em projetos de aproveitamento hidráulico e hidroelétrico.

2.2 Projeto Aljustrel - Desenvolvimento Mineiro, 2006 / 08

A mineração em Aljustrel constitui parte integrante e fundamental da história mineira de Portugal. Situadas na faixa piritosa ibérica, que se estende desde a Serra da Caveira (Grândola) até às proximidades de Huelva (Sul de Espanha), as minas de Aljustrel e de S. Domingos, constituíam, nos finais do séc. XIX e princípios do séc. XX, os principais complexos mineiros de Portugal.

Tal como o próprio nome indica, a pirite é o mineral mais abundante, cerca de 90%, sendo os restantes 10% constituídos essencialmente por esfalerite, galenite e calcopirite

Estas características garantiram a viabilidade económica das minas da Faixa Piritosa Ibérica para a extração de cobre, zinco, chumbo, ferro, manganês e, nalguns casos, de metais preciosos como o ouro e a prata.

Na década de 60, na sequência do encerramento das importantes minas de pirite de S. Domingos, as minas de Aljustrel tornar-se-iam as mais importantes do País e em Junho de 1973 a concessão transita para a posse da empresa *Pirites Alentejanas, SARL*, de capital predominantemente nacional (Estado com 50%, CUF com 40% e *Mines d'Aljustrel* com uma quota de 10%). Entretanto com as nacionalizações ocorridas em 1975, o Estado português passou a deter 90% do capital da empresa, ficando os restantes 10% em poder dos belgas.

Devido a contingências nomeadamente tecnológicas, e de falta de rigor no reconhecimento dos jazigos e sobretudo da recessão da cotação dos metais então ocorrida, aquele projeto acabou por falhar economicamente, provocando a suspensão da lavra mineira em Março de 1993.

Depois, em 2001, o complexo mineiro de Aljustrel foi adquirido pela empresa canadiana *EuroZinc Mining Corporation*, que depois de uma reavaliação do projeto e de um reconhecimento rigoroso dos diversos jazigos e aproveitando uma conjuntura favorável com a subida das cotações dos metais, anunciou em Maio de 2006 a retoma da exploração adjudicando à EPOS a construção de trabalhos de desenvolvimento mineiro dos jazigos de Feitais e do Moinho.

Em 2008 a empresa canadiana abandona o projeto de Aljustrel, que foi retomado mais tarde pela Almina – Minas do Alentejo S.A.

2.2.1 Enquadramento geográfico e geológico

A concessão mineira das antigas Pirites Alentejanas (agora ALMINA) encontra-se ao redor da vila mineira de Aljustrel, Alentejo. O couto mineiro tem uma área de 4,7 km² e abrange os depósitos de São João, Moinho, Feitais e Estação (Figura 2). As minas de Feitais e Moinho estão ligadas por uma galeria designada de Santa Bárbara.

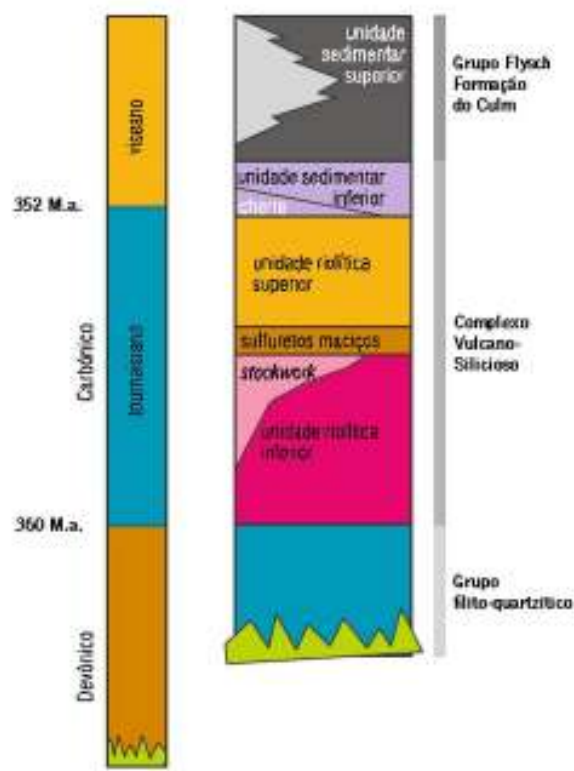


Fonte: GoogleEarth, 2016

Figura 2 - Localização da Mina de Aljustrel

A geologia da região, situada na Zona Sul Portuguesa, é caracterizada por um substrato Paleozóico e uma sequência sedimentar da Bacia Terciária do Sado - BTS, mais moderna. A falha ativa de Odemira-Ávila (Messejana) com movimentos NE-SW, define a margem SE da BTS, a qual se encontra confinada ao bloco norte-ocidental daquela falha. A sequência estratigráfica Paleozóica é formada pelas seguintes unidades principais (Figura 3):

- Grupo Flysch do Baixo Alentejo com a Formação de Mértola (Viseano superior)
- Faixa Piritosa Ibérica, com o Complexo Vulcano-Silicioso (Farmeniano Superior a Viseano) representado pelas unidades da Formação do Paraíso, Sequências Metavulcânicas felsíticas de mina e Metavulcânicas com megacristais verdes.



Fonte: Candeias 2008

Figura 3 – Coluna estratigráfica de Aljustrel

2.2.2 Principais atividades e metodologias

A intervenção neste projeto teve por base o desenvolvimento mineiro das Minas de Aljustrel em que estão englobados dois grandes jazigos: o de Moinho e de Feitais. Teve início em 2006 e prolongou-se até 2008.

O único acesso do exterior existente na altura era realizado através de uma rampa para a Mina do Moinho. Para aceder à Mina de Feitais era necessário percorrer uma galeria de pequenas dimensões existente no interior da outra mina mas, devido à suspensão da laboração em 1993, que provocou uma significativa falta de manutenção, aquele acesso tornou-se intransitável.

O novo projeto mineiro para o desenvolvimento de Aljustrel contemplava a realização de uma rampa de acesso à Mina de Feitais – Figura 4, e prosseguir a abertura dos acessos a zonas de minério e infraestruturas existentes na Mina do Moinho, com secções médias de 27 m², dependendo do sustimento a aplicar.

De modo a poder ser acompanhado pela EPOS de forma mais eficiente, o autor ficou afeto à construção da nova rampa para poder aferir os principais processos e adquirir o “know-how” das principais atividades a implementar, pois a atividade mineira e, em particular, a subterrânea, contempla diversos riscos. Estes riscos estão geralmente associados às características do material rochoso perfurado, ao uso de explosivos, à eventual presença de gases tóxicos, à existência de águas subterrâneas, à utilização crescente de máquinas e equipamentos ou à possibilidade de ocorrência de incêndios; todos eles fazem parte do espectro alargado de riscos com o qual todos os mineiros, bem como os outros envolvidos nos procedimentos de exploração, convivem diariamente.



Figura 4 – Entrada da rampa da Mina de Feitais.

Neste contexto o autor ficou também a conhecer que, para se praticar uma produção mais eficaz, é necessário todos os dias organizar equipas e máquinas, pois a obra mineira tem um planeamento bastante dinâmico. Assim, todos os dias no final de cada turno era realizada uma passagem de turno, onde eram debatidos todos os aspetos positivos e negativos do turno cessante.

Um pormenor importante era conseguir aprender os nomes de cada um dos interveniente em obra e a sua função, pois isso permitia realizar uma organização mais eficiente das equipas.

Em obra, a metodologia utilizada era a da técnica "drill and blast" - D&B, que consistia na perfuração de rocha de acordo com o plano de fogo, o carregamento dos furos e a detonação de explosivos nas frentes. As principais atividades envolvidas eram as seguintes – Figura 5:

- Marcação da pega;
- Perfuração da frente;
- Perfuração para aplicação de pregagens com a indicação da geologia e tabela de sustimento existente em obra (parafusos heliaço/swellex);
- Aplicação das pregagens (parafusos heliaço/swellex);
- Carga e disparo da pega;
- Limpeza do escombros;
- Saneamento manual ou mecânico;
- Aplicação de betão projetado (se necessário).



▪ Fonte: Adaptado de EPOS 2015.

Figura 5 - Ciclo da escavação subterrânea.

A escavação da rampa de Feitais demorou sensivelmente 6 meses e, durante esse tempo, o autor teve a necessidade de perceber, em auto-aprendizagem, os requisitos de todos os meios (humanos e máquinas) afetos à construção da galeria e de concretizar oportunidades de melhoria de modo a poder apoiar o responsável da obra.

O autor ajudou na otimização do ciclo de produção ao verificar que a furação realizada era excessiva. Ao diminuir a quantidade de furos realizados, diminuiu o tempo de furação e também o consumo de explosivo. Tudo isto fez com que houvesse um incremento na produção e uma redução significativa no consumo de explosivo em obra.

Familiarizou-se com o tipo de máquinas utilizadas em obra, essenciais ao sucesso de cada operação. Cada máquina tem a sua função em obra, mas aquela que realiza a perfuração, o Jumbo de furação, é a mais relevante, pois é uma máquina complexa de operar pois é com ela que se controla o perfil das galerias e, também, o avanço máximo admissível.

Se a furação não for bem realizada, pode abrir cavidades, implicando uma maior quantidade de escombros a ser retirado, a que se associa uma maior quantidade de custos financeiros. Em contrato existia uma cláusula que estipulava um valor máximo de sobreescavação que, em caso de incumprimento, acarretava multas significativas.

Apesar de haver equipa de topografia em campo existiam muitas frentes de trabalho e, às vezes, distantes entre si, o que impossibilitava que a marcação da frente de trabalho fosse realizada por aquela equipa. Então e para evitar constrangimentos e esperas, eram marcados dois pontos no teto, dando a direção do túnel, e dois pontos em cada hasteal, que indicavam a altura para o chão e teto. Esta operação também exigia do autor bastante atenção, pois se ela fosse mal realizada, daria azo a um erro crasso.

O Jumbo necessita de estar ligado a um quadro elétrico, sendo ainda necessário fazer uma ligação para o fornecimento de água às duas bombas hidropressoras existentes na máquina. Estes vão enviar a água para as brocas de perfuração, para que não atinjam temperaturas elevadas e para lubrificar melhor a zona entre o maciço e a broca. Permitem também a não produção de poeiras aquando da furação.

Nesta empreitada foram utilizados Jumbos electro-hidráulicos - Figura 6, de dois braços, e com a capacidade de usar varas de aço com o comprimento de 4,5 m. Numa primeira instância, eram os Jumbos que também realizavam a furação do sustimento aplicado em obra.

O autor aprendeu como operar estas máquinas e teve ainda de conhecer qual era o tipo de aço usado em cada operação – Figura 7, como era constituído o circuito de aço de furação utilizado e as suas ligações. O circuito de ligação é muito simples e implica ter várias ligações, desde o martelo até ao *bit* de furação. O circuito apresenta os seguintes componentes – Figura 7:

1. Encabadouro;
2. União;
3. Barrena;
4. *Bit* de furação.



Figura 6 - Jumbo de furação de dois braços



Fonte: ROCKMORE Drifting & Tunneling Tools.

Figura 7 - Aço de furação

Após a furação, era necessário garantir as melhores condições de segurança para os trabalhadores, aplicando o sustimento. A abertura de uma cavidade subterrânea (mina, túnel, ou caverna subterrânea) induz uma alteração do estado de tensão pré-existente no maciço rochoso motivando, na maioria dos casos, a necessidade de instalação de um sistema de sustimento que garanta a estabilidade dessa cavidade.

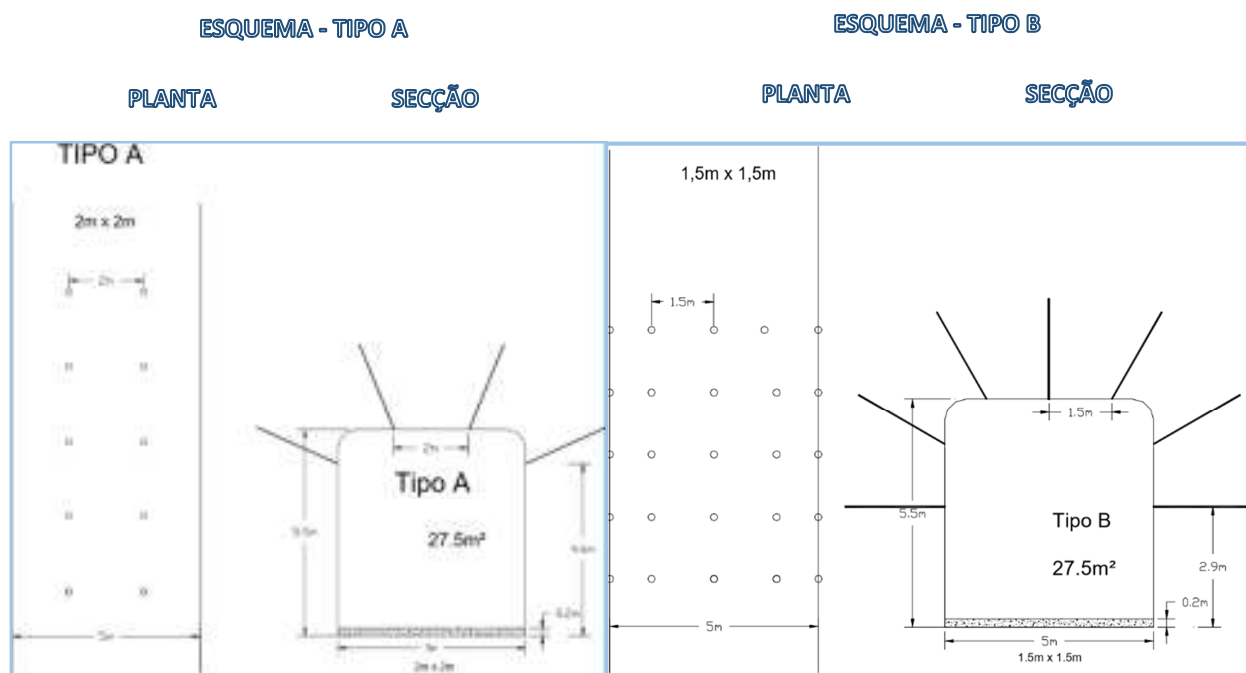
No seu estado natural, quando sujeitas a ações de compressão, a maioria das rochas duras são bastante mais resistentes que o betão, e algumas são mesmo tão resistentes como o aço. Sendo assim, as principais fontes de instabilidade que ocorrem numa cavidade subterrânea são:

- Ocorrência de condições adversas em termos de geologia estrutural;
- Ocorrência de tensões *in situ* excessivas;
- Expansão ou descompressão da rocha por ação de água ou ar;
- Pressão hidráulica ou percolação de água;
- Método de escavação e o procedimento construtivo usado.

A quantidade aplicada de sustimento dependia da qualidade geotécnica da zona e da perceção do geólogo que classificava a frente de trabalho - Figura 8. A cartografia geológica era garantida pelos geólogos das Pirites Alentejanas que indicavam o sustimento a realizar.

O sustimento preconizado na mina era o seguinte:

- Pregagens de heliaço ou *swellex* de 1,8 m ou 2,4 m, que é tipicamente um método de sustimento pontual, aplicável a maciços autoportantes, em que existem instabilidades apenas em blocos esporádicos. Para um correto funcionamento das pregagens (isto é, das ancoragens passivas), elas eram colocadas o mais perpendicularmente possível à estrutura - estratificação, fracturação ou xistosidade;
- Betão projetado, com ou sem fibras de aço, que constitui, atualmente, um elemento praticamente obrigatório na construção de túneis e minas, desempenhando um papel primordial na sustentação a curto prazo das frentes e perímetro destas obras e possibilitando a deteção precoce de movimentos pelo aparecimento de fissuras no betão;
- Cambotas metálicas (isto é, costelas, cimbres e perfis, com secções TH, HEB, H, U, etc.), que são um método de revestimento primário amplamente utilizado em solos e rochas muito fraturadas, principalmente em zonas de falhas;
- Malhassol, correntemente utilizada no revestimento primário de túneis e minas, aplicando-se conjuntamente com as cambotas metálicas ou com as pregagens.



Fonte: Adaptado Pirites Alentejanas 2008.

Figura 8 - Alguns esquemas de sustimento usados nas Minas das Pirites Alentejanas

Havia uma regra que implicava que, em galerias de rolagem, não se podiam aplicar pregagens tipo *swellex*, e em zonas de minério não se podia colocar pregagens tipo de heliaço. Isto tinha a ver com questões de durabilidade do material, pois as galerias de rolagem estavam em funcionamento durante mais tempo que as galerias de minério, que serviam para zonas de desmonte. Em primeira instância, todas estas pregagens eram colocadas à mão mas devido a questões de segurança foram adquiridas máquinas que conseguem realizar a colocação de pregagens, tanto *swellex* como de heliaço, mecanicamente - Figura 9.

A escavação foi efetuada em seção plena e com recurso a explosivos, sendo necessário o autor entrar em contacto com matérias explosivas. Para tal e como referido previamente, obteve a Cédula de Operador de Explosivos na Policia de Segurança Pública, para poder manusear estas substâncias e, através da sua autoaprendizagem verificou que os explosivos nos dias de hoje são materiais mais seguros mas mesmo assim tem que se respeitar as regras para evitar alguma catástrofe.

Após obter a cédula, o autor ficou a conhecer em obra que tipo de substâncias explosivas existiam, de que forma eram aplicadas e como aplicá-las. Estudou ainda que os detonadores são temporizados e que dentro de uma pega de fogo existem pequenas detonações para permitir que o material tenha tempo para soltar-se do maciço. Percebeu que uma troca de temporizações pode dar azo a uma sequência de disparos errada, o que falha completamente o objetivo de alcançar o máximo avanço possível. Isto acarreta graves problemas de segurança, pois os tiros falhados escondem explosivos não detonados, camuflados.



Figura 9 - Robolt de sustimento

O passo seguinte na evolução profissional do autor foi a realização otimização para a aplicação do desmonte dos planos fogo para poder otimizar o custo de explosivo *versus* benefício em termos do arranque de rocha desmontada. Foi necessário o autor redimensionar em obra os planos de fogo, uma vez que às vezes o fornecedor falhava, o que obrigava a reajustes.

Por vezes era necessário recorrer a um reforço do sustimento, sendo necessário aplicar betão projetado com fibras de aço. As minas apresentam galerias de pequenas dimensões e, para isso, a EPOS têm uma grande variedade de máquinas que permitem executar todo o tipo de atividades subterrâneas, entre as quais o betão projetado. O betão é transportado normalmente por autobetoneiras e todas elas apresentam dimensões que não se adequam às galerias mineiras. Por isso são utilizadas máquinas que têm acoplado um balão que permite transportar até 4 m³ de betão - Figura 10.

Estas máquinas eram carregadas na central de betão existente no estaleiro da obra e faziam o transporte até ao local onde seria necessário realizar algum tratamento adicional de sustimento.

Para a atividade de projeção de betão era utilizada uma unidade automatizada- Figura 11, que permite projetar o betão com ou sem fibras em toda a secção do túnel. Possui uma lança de longa distância, permitindo trabalhar em grandes alturas e tem uma função retráctil que permite um poder de manobra e alcance elevados.



Figura 10 - Máquina de transporte de betão



Figura 11 - Unidade automatizada de projeção de betão.

A unidade automatizada para está munida de um comando para uma maior facilidade de controlo da lança, assim como um ângulo de visão maior entre o operador e a superfície a projetar. Na ponta da lança, encontra-se o bico de projeção. É neste local que é efetuada a junção de aditivo, superplastificante ou acelerador de presa.

A unidade automatizada tem incorporado estabilizadores, bomba de betonagem, bomba de adjuvantes, compressor e um minicomputador que permite o controlo da bomba de betão e de aditivo, assim como a pressão do ar comprimido. Para o seu funcionamento, necessita de ser ligado a um quadro elétrico.

Na parte traseira do robô, encontra-se a torva, que é o local onde a autobetoneira descarrega o betão, e que possui um sistema vibratório que facilita passagem do betão para a bomba de betonagem.

Raramente se projetava em zonas de minério para não haver contaminação, pois o betão projetado continha fibras metálicas. Durante a operação era necessário verificar se o acelerador de presa que saía era o indicado para garantir uma projeção com qualidade.

Depois de 6 meses de aprendizagem dos métodos de construção e visto que o autor mostrou aptidões para o cargo de chefia, os responsáveis em obra atribuíram-lhe mais obrigações e responsabilidades. Foi quando ficou responsável de turno na Mina do Moinho, para tentar compreender e ajudar a concretizar objetivos propostos, em termos produtivos, pela EPOS.

A Mina do Moinho já se encontrava em exploração de minério com ligações ao exterior e infraestruturas no fundo da mina importantes, como por exemplo uma oficina de fundo – Figura 12, que permitia que não fosse necessário realizar manutenções às máquinas na superfície.



Figura 12 - Oficina de fundo da Mina do Moinho.

O autor teve de se adaptar às novas condições, pois o labirinto de galerias era considerável, bem como de conhecer os trajetos existentes, recorrendo a alguns truques de forma a poder ajudar os chefes de equipa. Ajudava a coordenar as equipas e os equipamentos que estavam disponíveis, dependendo das ordens que eram transmitidas nas passagens de turno, pois era necessário atingir cotas de produção diárias.

De realçar, que as máquinas usadas em meios mineiros para o transporte de minério são ferramentas especiais que são desenhadas de modo a aguentar o ambiente inóspito que é proporcionado pela exploração mineira. São máquinas poderosas, com um *design* diferente das máquinas usadas em obra. As pás carregadoras mineiras são dirigidas lateralmente, pois permitem as mesmas velocidades, tanto de marcha atrás como para a frente, de modo a facilitar a manobrabilidade, pois muitas vezes são elas que fazem o transporte do minério - Figura 13. Os *dumpers* de transporte de minério são, na maioria, mais baixos que os de construção civil, uma vez que as galerias mineiras raramente apresentam alturas elevadas, sendo máquinas muito potentes – Figura 14, que permitem transportar grandes quantidades de minério.



Figura 13 - Pá carregadora mineira



Figura 14 - Operação de carregamento de um dumper.

Como tudo na vida é um ciclo, a exploração da Mina do Moinho estava a ficar reduzida e a maior quantidade de trabalho estava a ser direcionada para a Mina de Feitais. Com a experiência adquirida na Mina do Moinho e ao ter demonstrado capacidades de liderança, o autor ficou responsável pela produção da Mina de Feitais até ao “lay-off”, anunciado pela responsável das Pirites Alentejanas, em dezembro de 2008.

2.3 Túnel do Marão, Auto Estrada do Marão A4/IP4 – Amarante/Vila Real

A construção do trecho da autoestrada A4 entre Amarante e Vila Real, era um anseio antigo de toda uma região, tornando-se numa construção essencial para a região de Trás-os-Montes, uma vez que seria uma alternativa ao sinuoso Itinerário Principal 4 (IP4). Desta forma, os estudos previram a diminuição da sinistralidade no IP4, que era palco, em média, de 24 mortes/ano nos anos anteriores ao início da construção.

A empreitada do túnel foi lançada em 2009, com um investimento inicial anunciado de 350 milhões de euros e com um custo projetado, até 2035, de 452 milhões de euros. A obra foi atribuída à concessionária Auto-estrada do Marão SA, cujo consórcio construtor era a Infratúnel, constituída pelas empresas Somague e MSF.

A empreitada total era de quatro sublanços e no terceiro deles, o Nó de Ligação ao IP4/Nó de Campeã, com 18.530 m de extensão, inseria-se o Túnel do Marão, com cerca de 5 655 m de comprimento e que incluía ainda 10 obras de arte especiais, para além de obras de arte correntes.

O Túnel do Marão foi projetado para permitir uma maior mobilidade dos transportes públicos e de mercadorias permitindo levar os bens essenciais com uma maior fluidez e facilidade no trajeto. Isto permitiria fomentar o desenvolvimento do comércio interior com o litoral, fonte importante para o desenvolvimento destas regiões.

A obra consistiu na construção de dois túneis gémeos em que cada galeria rodoviária tinha uma secção transversal de escavação de 107 m². Havia também em projeto cinco galerias de ligação entre os túneis gémeos, sendo uma obra de grande prestígio, pois é o maior túnel rodoviário da Península Ibérica.

Em 2009, a empresa EPOS foi contratada para a empreitada do Túnel do Marão, no âmbito da Auto Estrada do Marão A4/IP4 – Amarante/Vila Real, realizando o ataque do lado nascente mas devido a problemas de financiamento da obra e de várias paragens, a empreitada não foi concluída, sendo retomada e finalizada anos mais tarde, por outro consórcio.

2.3.1 Enquadramento geográfico e geológico

O Túnel do Marão é um túnel rodoviário inserido na autoestrada entre Amarante e Vila Real, atravessando a Serra do Marão, dando sequência à autoestrada A4 entre Porto e Amarante – Figura 15.



Fonte: Tiago Pinto, 2010.

Figura 15 – Localização do Túnel do Marão

Como se pode verificar no extrato da Carta Geológica de Portugal, folha 10-C, Peso da Régua, apresentada na Figura 16, o túnel, ao longo do seu traçado, intercepta três tipos de maciços distintos. Começando do lado poente para o lado nascente, encontram-se os seguintes maciços:

- Xistos argilosos, finos, ardosíferos, com fósseis; xistos sericíticos e quiastolíticos,
- Quartzitos com bilobites (Cruziana) e *Vexillum*; xistos e leitos magnetíticos intercalados,

- Complexo Xisto-Grauváquico ante-Ordovício e séries metamórficas derivadas.

Do lado nascente do túnel, encontra-se um maciço rochoso do Complexo Xisto-grauváquico e as séries metamórficas derivadas. Estas rochas ocupam uma extensa área da metade oriental da região abrangida pelo mapa. O Complexo é formado por uma série espessa de xistos e grauvaques, contendo alguns quartzitos, em disposição alternada. A regularidade da alternância de leitos predominantemente pelíticos com outros essencialmente psamíticos, dá à rocha um aspeto listrado.

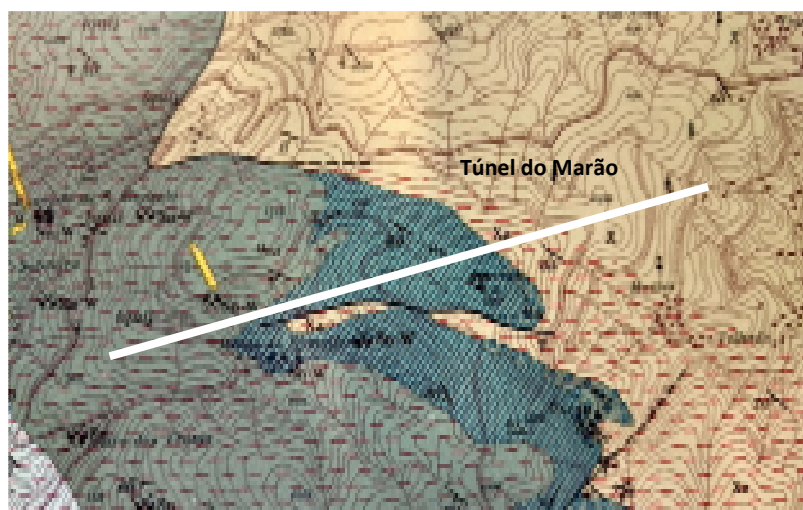


Figura 16 – Infografia de um extrato da carta geológica de Portugal, folha 10C, escala 1:50000, com implantação do alinhamento do túnel do Marão

2.3.2 Principais atividades e metodologias

Os trabalhos de construção do túnel do Marão basearam-se nos princípios subjacentes ao designado Novo Método Austríaco de Construção de Túneis (*New Austrian Tunelling Method* - NATM), com observância estrita de todos os princípios inerentes a este método.

O 'novo' método foi desenvolvido entre 1957 e 1965 na Áustria. Foi-lhe atribuída essa designação em Salzburg, em 1962, para distingui-lo do antigo método utilizado, desde o século XIX, na Áustria. Os contribuintes principais ao desenvolvimento do NATM foram Ladislaus von Rabcewicz, Leopold Müller e Franz Pacher. O NATM é uma abordagem metodológica que integra os princípios do comportamento de maciços rochosos sob carga e a monitorização da construção subterrânea durante a construção.

Müller (1978) listou os principais princípios de NATM e, de entre eles, referem-se os seguintes:

- Mobilização da resistência do maciço rochoso - o método baseia-se na resistência intrínseca do maciço; a sustentação preliminar é orientada para permitir a autossustentação do terreno;
- Proteção com betão projetado - a descompressão e a deformação excessiva do maciço devem ser minimizados; isto é conseguido aplicando uma camada fina de betão projetado, imediatamente após o avanço da frente;

- Monitorização - cada deformação da escavação deve ser medida; este método requer a instalação de uma instrumentação adequada para a medição de convergências. Aquela é encastrada no sustimento, na soleira e nos pinos de sustentação.

Todo o equipamento mecânico para trabalhos de escavação subterrânea e transporte deve ser adequado aos trabalhos mencionados, devendo cumprir com os regulamentos de segurança e permitir o desenrolar normal do cronograma de construção.

O projeto do túnel teve por base uma prospeção geotécnica que consistiu na realização de dois furos de sondagem, com orientação paralela ao respetivo eixo, com uma inclinação de 45º, que foi precedida pela execução de perfis de resistividade elétrica, dipolo-dipolo e também com recurso à prospeção sísmica, o que proporcionou um modelo conceptual do interior do maciço, mas considera-se que não foi suficiente para o caracterizar com exatidão, revelando-se uma dificuldade ulteriormente durante a implementação do projeto. O autor não teve a possibilidade de acompanhar a fase de prospeção geofísica.

No túnel do Marão foram executados dois emboquilhamentos semelhantes, tanto no lado poente como no lado nascente – Figura 17.



Figura 17 – Vista do emboquilhamento nascente do Túnel do Marão

O início de escavação dos túneis previa a execução em projeto de um chapéu de enfilagens com comprimento de 12 m seladas com calda de cimento - Figura 18.



Figura 18 – Aspeto do chapéu de enfilagens

Após a colocação e selagem das enfilagens, a escavação foi executada em meia secção, com o avanço a ser efetuado com cambotas treliçadas.

As cambotas treliçadas são leves e fáceis de instalar manualmente, pois as peças/arcs são mais leves que as convencionais, podendo ser manuseadas facilmente sem equipamentos especiais. A principal vantagem destas cambotas é a sua capacidade de trabalhar conjuntamente com o betão projetado. Devido à abertura natural no *design* desta cambota, o betão projetado passa através desta, reduzindo a possibilidade de não consolidarem as áreas atrás dela. A projeção pode ser aplicada uniformemente para se ter um revestimento integral.

A escavação com cambotas terminou quando se chegou ao término do chapéu de enfilagens. Em projeto estava definido um segundo chapéu, mas a equipa de geologia em conjunto com a de fiscalização permitiram realizar os avanços com recurso a explosivos, sem efetuar pré-sustimento. Contudo, por questões de segurança e trabalhabilidade, optou-se por colocar os pés de cambotas, ficando o túnel com a secção completa.

As enfilagens foram deixadas com 1 m para fora do emboquilhamento, para se poder criar um túnel falso - Figura 19, e assim evitar que algum material pudesse cair diretamente do talude em cima de pessoas ou equipamento.

O ciclo das operações realizadas durante a construção deste túnel – Figura 20, consistiu nos seguintes trabalhos:

- Furação com recurso a Jumbos e aplicação do sustimento provisório (pregagens *swellex*);
- Carregamento da frente de trabalho com explosivos;
- Disparo e ventilação;
- Carga e remoção de escombros;
- Projeção de betão com a adição de fibras metálicas.



Figura 19 - Túnel falso.

Nesta obra foram utilizados também Jumbos electro-hidráulicos - Figura 21, equipados com 3 braços, em que cada um deles incorporava uma vara de furação de 6 m.

O maciço era perfurado de acordo com um plano de fogo adequado para a secção do túnel de 107 m², onde se estabelece a localização, profundidade e o diâmetro dos furos. Tudo isto é concebido para aumentar os rendimentos de furação e economizar a quantidade de explosivo aplicado. Para iniciar a perfuração, o Jumbo é conduzido até à frente de trabalho sendo necessário estabilizá-lo e ligar à corrente elétrica. Quando o procedimento estiver finalizado pode ser operado de forma automática, semiautomática ou manual.



a) furação



b) carregamento de pega



c) aplicação de betão projetado



d) transporte de escombro

Figura 20 - Aspetos do processo de escavação adotado



Figura 21 - Jumbos electro-hidráulicos no túnel do Marão

No caso desta empreitada a furação foi realizada de modo automático, pois estas máquinas estavam equipadas com computador onde foram inseridos os planos de fogo pretendidos, sendo necessária a intervenção da topografia de modo a poder posicionar o Jumbo. A perfuração respeita princípios de máxima produtividade de maneira a que os três braços estejam sempre a trabalhar em simultâneo.

Estes planos de furação foram efetuados pelo autor que estudou os princípios básicos da perfuração de modo a que não existissem sobrecavações e que permitiram desenvolver o plano de fogo para cada frente de trabalho.

Finalizada a furação, segue-se a operação de carregamento da frente de trabalho com recurso a explosivos.

A utilização de explosivos nos trabalhos de escavação do túnel foi condicionada à aprovação pela Fiscalização dos diagramas de fogo e das sequências e espaçamentos dos disparos a utilizar em cada pega.

Os planos de fogo foram definidos tendo em conta os limites máximos de velocidade de vibração de partículas, determinados em função do critério de máxima segurança para a estabilidade da obra e outras estruturas próximas do local da construção do túnel, assim como tendo em atenção a salvaguarda do bem-estar das populações da zona envolvente.

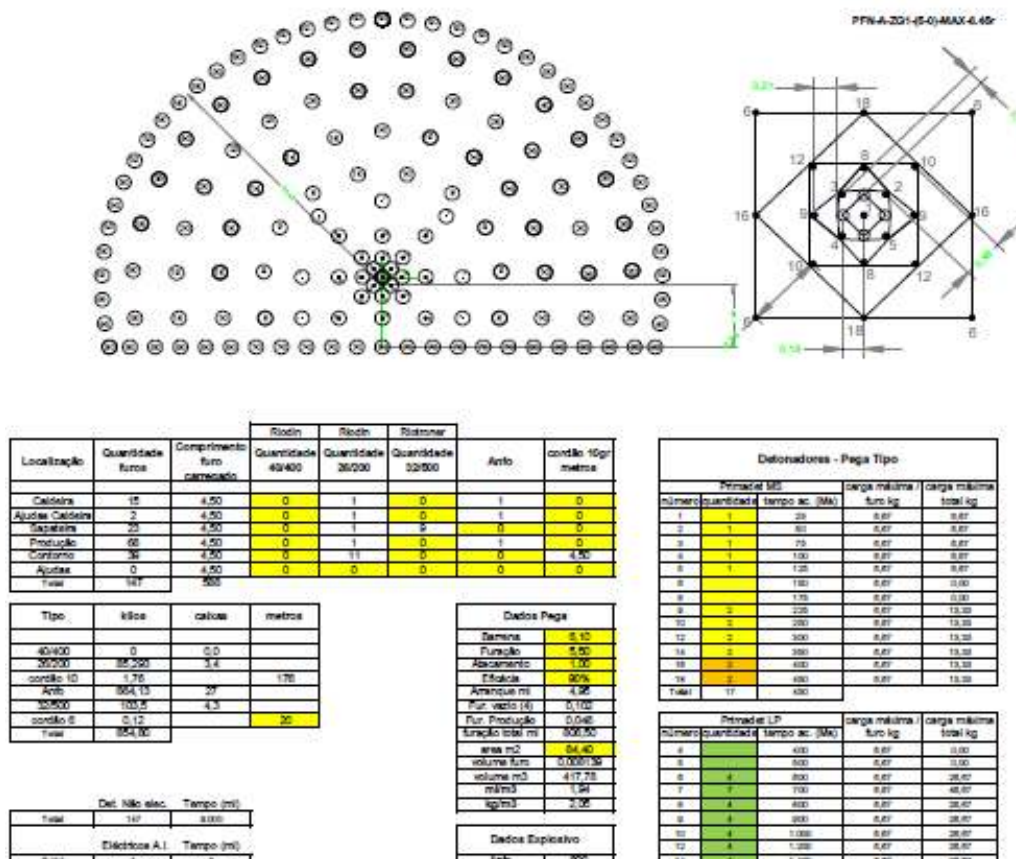
Os planos de fogo - Figura 22, apresentados à Fiscalização para aprovação constavam da seguinte informação:

- Esquema de furação proposta, diâmetros dos furos, espaçamento, profundidade e inclinação;
- Tipo, potência e quantidade em peso dos cartuchos de explosivos a serem usados em cada furo e para o total da pega;
- Distribuição das cargas nos furos e rastilho de cada furo;
- Tipo, sequência e número de intervalos, diagrama de rastilho para o fogo, tamanho e tipo dos cabos, tipo da máquina de detonação;

- Documento comprovativo das qualificações das pessoas que ficarão diretamente responsáveis pela supervisão das cargas e detonação.



ZG1- » Pega de Fogo - Riadin / Anfo



processo estar todo legal, foi necessário tirar uma licença de explosivos para a obra, que contabilizava a entrada diária de explosivo e a sua devolução. Todo este processo era controlado pelo agente da polícia, que ia juntamente com o camião do fornecedor.

O explosivo utilizado em obra tem a designação de ANFO em granel e RIODIN HE. Os detonadores utilizados eram do tipo não elétricos (NONEL), o que garantia uma maior segurança no seu manuseamento. O Amonóleo é um explosivo do tipo ANFO, seguro e de fácil manuseamento. É composto por uma mistura de nitrato de amónio poroso de elevada qualidade e gasóleo. RIODIN HE é um explosivo baseado nos compostos nitroglicerina / nitroglicol de alta energia, sendo fornecidos em diferentes diâmetros e tamanhos. A escolha do tipo de explosivos a utilizar em obra depende muito do orçamento previsto e, também, das condições existentes no maciço pois, por exemplo, o ANFO perde as suas capacidades ao entrar em contato com a água.

Finalizado o carregamento da pega – Figura 23, a operação do disparo consistia no acionamento do disparador que realizava uma descarga elétrica, que acionava o único detonador elétrico existente. O rebentamento deste iniciava o cordão detonante que faz com que os detonadores não elétricos fossem ativados. Após terem sido verificadas as condições de segurança, e não sendo detetada nenhuma violação súbita do perímetro de segurança, era dada a ordem de fogo pelo responsável das operações acionando o disparador, iniciando a pega de fogo.



Figura 23 - Carregamento da frente de trabalho com explosivo.

O disparo é efetuado com o ventilador desligado. Após o disparo, liga-se o ventilador para garantir as condições de ventilação na zona da frente. Uma boa ventilação é necessária para diluir os gases perigosos para os tornar inofensivos e evacuá-los. O ar é levado através de uma manga de ventilação colocada na abóboda e fixa através de um cabo de aço - Figura 24.



Figura 24 - Manga de ventilação,

Uma empreitada desta envergadura requer uma dedicação diária a controlar os *stocks* de materiais necessários para que não existam falhas, pois a panóplia de materiais usados em obra é significativa. Requeria também uma especial atenção para que não existissem excessos, pois existem materiais que têm um prazo de validade curto e, também, porque as condições climáticas vigentes podiam degradar esses materiais, que fazia com que a sua aplicabilidade fosse rejeitada pela fiscalização. Assim, aqueles eram verificados diariamente pelo autor com os encarregados de frente, para depois reportar ao seu administrativo as quantidades necessárias para que a empreitada não parasse por alguma falha desse controlo.

O escombro resultante de cada desmonte foi retirado com o auxílio de pás carregadoras existentes em obra, carregando *dumpers* na frente de trabalho – Figura 25, que por sua vez o levavam para uma escombreira perto da frente de trabalho.



Figura 25 – Dumper Volvo A40D

Depois de realizada a limpeza do escombro e posterior saneamento, a geologia e topografia eram chamados à frente de trabalho – Figura 26. A topografia verificava a secção escavada para confirmar se existiam sub ou sobrecavações de modo a se poder regularizar o perfil. Depois de realizado o levantamento, o topógrafo ia para o seu gabinete realizar os perfis topográficos que permitiam ao autor verificar se havia alguns desvios no perfil do túnel, e investigar esses desvios que poderiam ser devidos à geologia atravessada ou a erros de furação.



Figura 26 – Equipa de topografia a realizar trabalho no campo e no gabinete

Durante o levantamento topográfico, a equipa da geologia desempenhava uma função também importante – Figura 27, pois era ela que determinava, em campo, o sustimento preconizado para o túnel ou algum sustimento adicional a realizar, através da aplicação de classificações geomecânicas (sistema Q e RMR, GSI). Seguidamente, o próximo passo era a aplicação de betão projetado com fibras metálicas.



Figura 27 – Equipa de geologia a assinalar as descontinuidades mais relevantes

Como referido, o betão projetado – Figura 28, é parte integrante do método NATM. Ele é muito utilizado como material estrutural pela sua economia e, também, porque os constituintes necessários ao seu fabrico estão acessíveis em qualquer parte do mundo. É considerado como uma “pedra artificial”, formada por uma mistura proporcionada de agregados finos e grossos (areia e brita) com um ligante hidráulico, água e, eventualmente, adjuvantes. O ligante interage com a água e a mistura adquire coesão e resistência que lhe permite servir como material de construção.



Figura 28 - Projeção de betão em galeria

O betão projetado consiste na projeção pneumática de um betão com agregados finos sobre uma superfície. São betões caracterizados por terem dosagens de cimento elevada e da dimensão dos agregados e a dosagem de água serem reduzidos. Podem ser utilizados diversos aditivos, geralmente para acelerar a presa do cimento e para melhorar as características de bombeamento da mistura.

Esta metodologia permite uma maior liberdade ao viabilizar a conceção de todo o tipo de trabalhos com formas ou dimensões pouco usuais face ao betão tradicional, não sendo necessárias cofragens de madeira, nem havendo necessidade de tempos de secagem, já que esta é feita quase imediatamente na altura da projeção. Apenas tem de ser aplicado numa superfície limpa de poeiras, pois uma superfície suja impede uma boa aderência do betão, originando um grande desperdício de material. A superfície onde se vai aplicar o betão projetado pode ser limpa simplesmente pelo bico da máquina de projeção, combinando um fluxo de ar e de água.

Tem como vantagem a inexistência de falhas, pois não existem juntas entre o betão e o maciço, e ao ser projetado o betão é vibrado, o que garante a inexistência de poros, garantido uma total estanqueidade estrutural. Deve ser aplicado no menor intervalo de tempo possível após a escavação do maciço, pois uma vez que sejam escavados, eles tendem a sofrer deformações, cuja velocidade depende das suas características físicas e mecânicas.

As camadas de betão projetado devem-se formar a partir de várias passagens, sem interrupções de fluxo do bocal, até se alcançar a espessura indicada para a zona geotécnica em causa. Às vezes e nesta obra assim sucedia, são adicionadas fibras metálicas ao betão. As fibras com uma adequada resistência mecânica à tração, homogeneamente distribuídas dentro do betão, constituem uma micro-armadura a qual, por um lado se mostra extremamente eficaz contra um fenómeno designado de fissuração por retração e, por outro, conferem ao betão uma ductilidade apreciável.

No entanto, para que isso seja exequível, é necessário que a fibra seja suficientemente resistente e que apresente aderência adequada à matriz, onde existe em quantidade suficiente. São concebidas para serem fáceis de misturar, colocar e dar acabamento ao trabalho. Elas podem ser adicionadas a todos os tipos de betões correntes, antes durante ou após a sua fabricação. A taxa padrão de fibras é 30 kg/m^3 de betão. O betão com fibras metálicas pode ser bombado e colocado utilizando equipamento convencional.

Existem processos de verificação de uma escavação subterrânea e de controlo da evolução das cargas e deformações para prevenção de possíveis anomalias. A fim de se obter esse controlo, realizava-se a instrumentação no interior do túnel. Como referido, é parte integrante do processo NATM o controlo das deformações induzidas pelas escavações, o qual é garantido pela aplicação correta dos sustimentos no tempo em que o maciço é autoportante. A verificação dessas condições era efetuada através da instrumentação do maciço e da estrutura do túnel.

A instrumentação, no interior do túnel, baseou-se essencialmente nas medições de convergência, onde eram instalados alvos para leituras de precisão de assentamentos e deslocamentos horizontais. Estas

permitem o cálculo de convergências em secções transversais espaçadas, aproximadamente de 40 m, ou em pontos singulares que se considerem importantes.

A medição de convergências é possivelmente o método de monitorização com a maior relação benefício/custo, tratando-se de um processo simples, económico e rápido.

As frequências de leituras eram diárias, até 25 m da frente. Seguidamente, passavam a ser realizadas três vezes por semana até 40 m da frente. Dos 40 m em diante, caso o maciço se mostrasse estabilizado, as leituras passavam a ser mensais.

Para aquelas secções, previu-se a utilização de cinco pontos de leitura - Figura 29, em cada uma das secções instrumentadas nos túneis principais, assim distribuídos: um na abóbada ao eixo, um em cada hasteal na zona superior e um em cada hasteal junto à soleira.

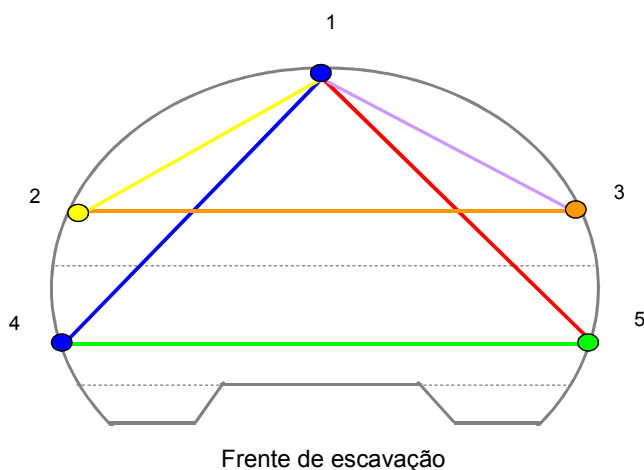


Figura 29 - Secções de convergência utilizadas

Outra área bastante importante em obra pública é a ambiental. Os resíduos eram um fator de poluição constante que eram devidamente separados e recolhidos – Figura 30. Isto tudo demonstrava a crescente preocupação ambiental que a EPOS tinha e tem nas suas obras. Todos os resíduos eram posteriormente entregues a uma empresa própria de reciclagem.



Figura 30 - Separação dos resíduos em obra.

As águas utilizadas para a furação e outros trabalhos importantes no túnel e mesmo as águas de infiltrações no maciço eram encaminhadas dentro do túnel, em vários estágios de decantação. Essas águas residuais contaminadas (óleos, lamas, poeiras, etc..) eram conduzidas para um tanque que, por sua vez, estava ligado a uma Estação de tratamento de águas residuais (ETAR), onde se processava o tratamento e os poluentes eram separados da água por sedimentação – Figura 31. Este é um processo físico mas, às vezes, eram aplicados agentes químicos que através da floculação ou coagulação garantiam a obtenção de flocos da matéria poluente de maiores dimensões. A eficiência deste tratamento pode ir até cerca de 60%, visto que no final a carga poluente na água era de reduzidas proporções. Por fim, esta água tratada era encaminhada para o circuito natural e reaproveitada para todas as atividades que precisavam dela.



Figura 31 – Aspeto das etapas de tratamento em funcionamento na ETAR

Entretanto e apesar da empreitada se encontrar em bom ritmo, em 27 de Junho de 2011 foi anunciado que as obras do túnel seriam suspensas por decisão governamental. A Concessionária, Auto-estradas do Marão, decidiu suspendê-las em toda a extensão do trecho de ligação entre Amarante e Vila Real. Em Junho de 2013, o Estado rescindiu com aquela entidade, alegando justa causa fundada no incumprimento por parte da Concessionária.

2.4 Aproveitamento hidroelétrico de Laúca (Angola): execução dos condutos forçados e poços

Localizada no município de Cambambe, na província do Kwanza Norte, esta barragem foi encomendada pelo Estado Angolano por USD 4,3 mil milhões à Odebrecht. Além da Odebrecht, que era o empreiteiro geral, foram sub-contratadas a Somague Angola, Teixeira Duarte, Renasol, Ibergru e a EPOS, estando a fiscalização a cargo da COBA SA e Lahmeyer Internacional. A geologia e o projeto eram realizados conjuntamente pela empresa Intertechne Consultores S.A.

O Aproveitamento Hidroelétrico (Ah) de Laúca é o maior a ser construído em Angola e terá capacidade para produzir 2004 MW. Vai gerar energia para o norte e centro do país, permitindo assim o desenvolvimento social e econômico regional e melhorar a qualidade de vida da população.

Em março de 2014, a EPOS conquistou a subempreitada de escavação de seis túneis em carga que integravam o circuito hidráulico da Barragem de Laúca, partindo do lado montante, bem como a escavação dos seis poços (*shafts*) que ligam os túneis à superfície.

Seguidamente, descreve-se este projeto e sintetiza-se a atividade desempenhada pelo autor.

2.4.1 Enquadramento geográfico e geológico

O Ah Laúca – Figura 32, situa-se na província angolana do Kwanza Norte, que limita a norte com as províncias do Uíge, a oeste com o Bengo, a leste com Malanje e a sul com o Kwanza Sul, mais propriamente ao km 307,5 do Rio Kwanza (medido a partir da sua foz).

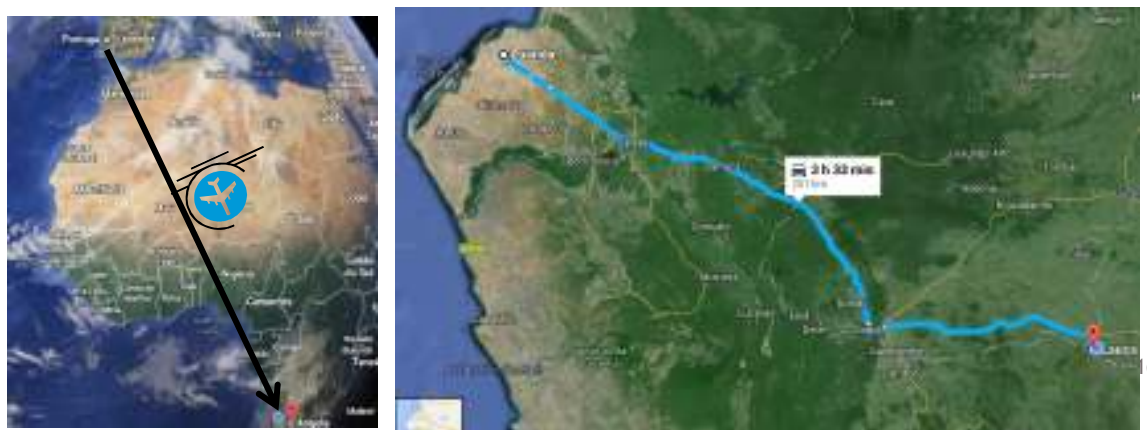
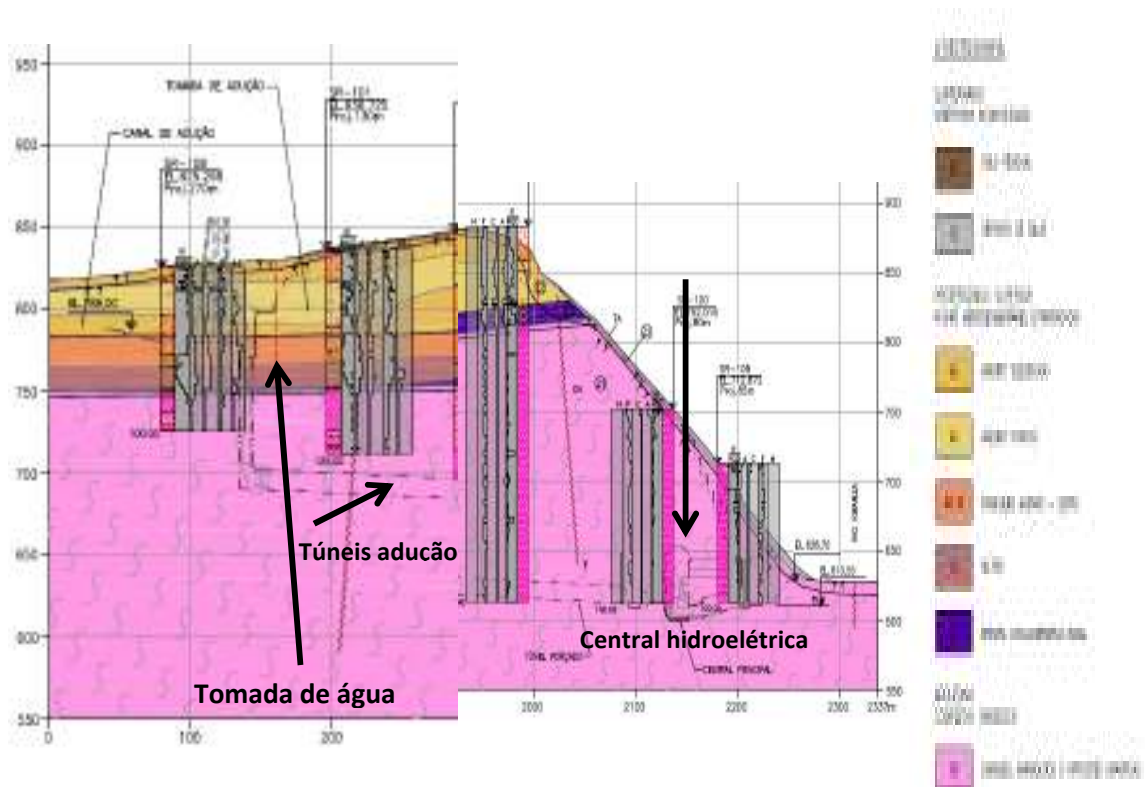


Figura 32 - Localização de Ah - Laúca.

A geologia da região onde se encontra este aproveitamento é composta por rochas metassedimentares, derivadas de arenitos e siltitos, e rochas cristalinas antigas, nomeadamente gnaisses – Figura 33.

Foram realizadas várias sondagens na zona da empreitada, nas áreas consideradas mais críticas, como por exemplo na fundação da barragem, na central subterrânea e na tomada de água. Dessas sondagens, observa-se a seguinte sequência estratigráfica, do topo para a base: arenitos silicificados; arenitos porosos; intercalações de siltitos com arenitos; siltitos; brecha conglomerática; gnaisses.



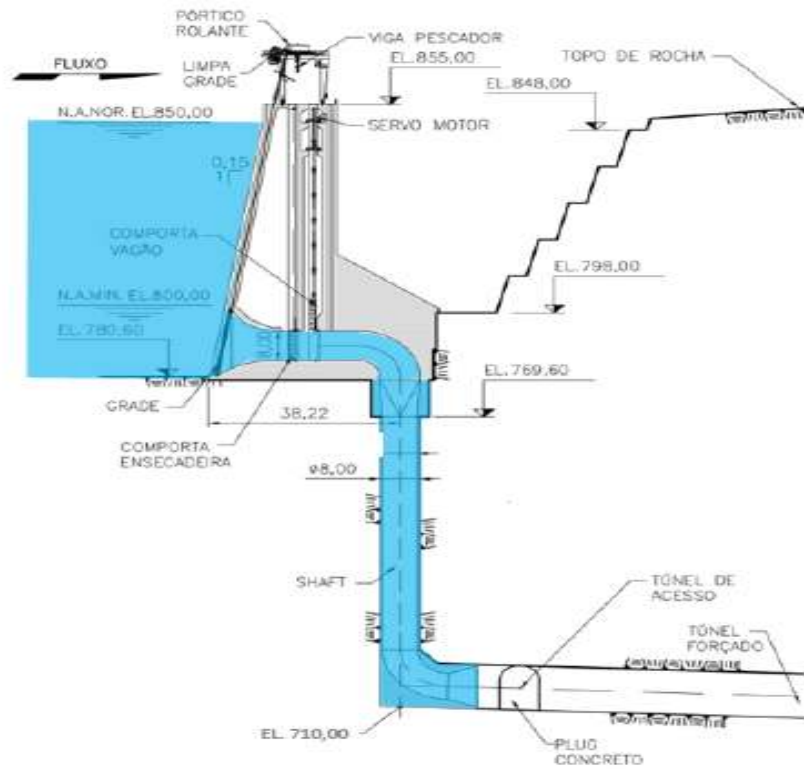
Fonte: Interterchne, 2014.

Figura 33 - Perfis geológicos do Ah - Laúca.

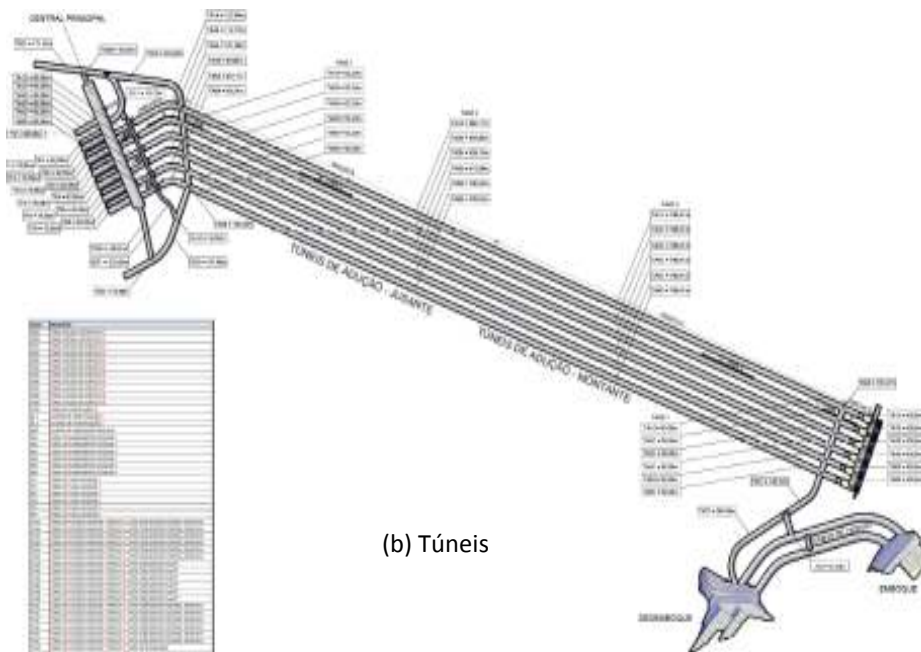
2.4.2 Principais atividades e metodologias

Como já foi referido, a EPOS foi contratada para realizar dois tipos de obras subterrâneas de grande envergadura – Figura 34:

- Seis poços com aproximadamente 60 m de comprimento cada, e uma secção de escavação de 53 m²;
- Construção de seis túneis com aproximadamente 1.300 m de comprimento cada, e uma secção de escavação de 104 m².



(a) Poços



(b) Túneis

Fonte: Odebrecht, 2014.

Figura 34 – Esboço do projeto de execução dos túneis e poços, sem escala

O procedimento executivo dos poços pressupõe duas atividades distintas:

- *Raise boring*: corresponde à escavação, por método mecânico, de um poço ou chaminé, vertical ou inclinado, com recurso a equipamento próprio (*Raise borer*); esta escavação desenvolve-se entre dois níveis situados a cotas diferenciadas.
- Alargamento: consiste no complemento, por acréscimo da secção de escavação, da abertura anteriormente realizada por *Raise boring*.

Para operação de uma *Raise borer*, pressupõe-se a realização de trabalhos preparatórios como a montagem de redes de alimentação elétrica e de água, adequadas ao trabalho a realizar. A EPOS sempre recorreu a subempreitadas para a realização deste tipo de método, mas nesta obra resolveu adquirir este equipamento para melhorar o seu *know-how* e para, futuramente, ser mais autónoma neste tipo de trabalhos.

Foi preciso um técnico da empresa que desenvolveu a máquina ir a Laúca dar formação aos manobreadores, tendo autor ficado responsável pelo acompanhamento de toda a montagem e execução, pois o técnico só falava inglês.

Depois e de acordo com o estudo das características do terreno onde a máquina ia ser estabelecida, é executada uma fundação – um maciço em betão, de forma a facilitar o emboquilhamento do furo com o primeiro estabilizador (vara guia), e minimizar desvios significativos na direção do furo, prevenindo assentamentos, pois as forças exercidas pela máquina são significativas - Figura 35.



Figura 35 - Maciço em betão para a Raise borer.

O procedimento específico de perfuração para execução dos poços pelo método *Raise Boring* consiste na abertura prévia de um furo piloto, de 9" de diâmetro, entre a superfície e a base do poço. Esse furo é conseguido através da rotação das varas que constituem a coluna de perfuração, incorporando um *bit* na extremidade, sendo auxiliado pela água que faz a limpeza dos resíduos de perfuração - Figura 36.

Deste modo, para cada um dos seis poços executados, a perfuração iniciou-se a partir da superfície, em direção ao respectivo túnel inferior, previamente escavado. Ao longo da perfuração eram introduzidas e roscadas, consecutivamente, varas e estabilizadores (varas guia) novas, que constituem a coluna de perfuração, até se atingir o túnel/base do poço.

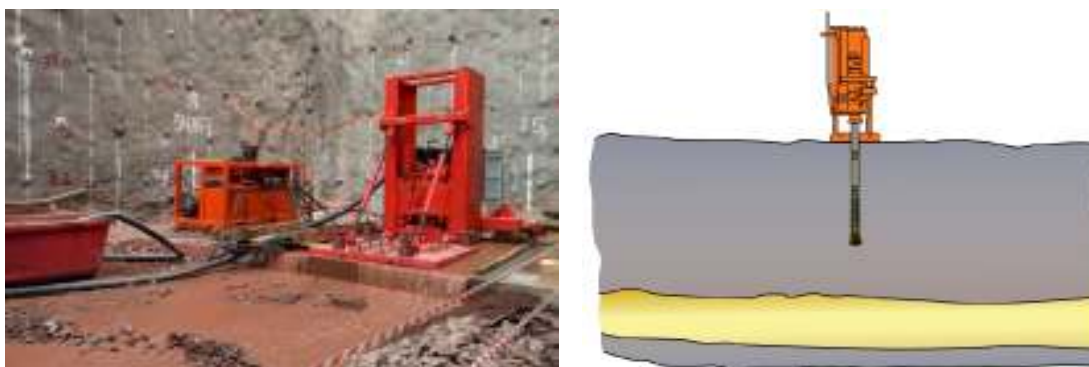


Figura 36 - Furação do furo piloto por Raise boring

Depois de atingida a base do poço, iniciou-se a segunda etapa, que consistia na retirada do *bit* do furo piloto e a colocação da cabeça alargadora. O transporte da cabeça foi efetuado com recurso a balde de pá carregadora, atendendo às características do mesmo, o que permitiu um correto ajuste em relação à coluna de perfuração no interior do túnel. Assim, a cabeça escarificadora foi fixada à haste que serviu para abrir o furo piloto - Figura 37.



Figura 37 - Transporte da cabeça escarificadora e sua fixação à haste

Esta cabeça possuía o diâmetro necessário para alargar o furo inicial para o diâmetro desejado de 1,80 m. Acionada pela máquina localizada no nível superior, a cabeça escarificadora iniciou o alargamento do furo em sentido ascendente – Figura 38, caindo os escombros para o nível inferior. Durante toda a fase de escavação, não era permitida a realização de trabalhos na base do poço, estando esta limitada por um perímetro de segurança.

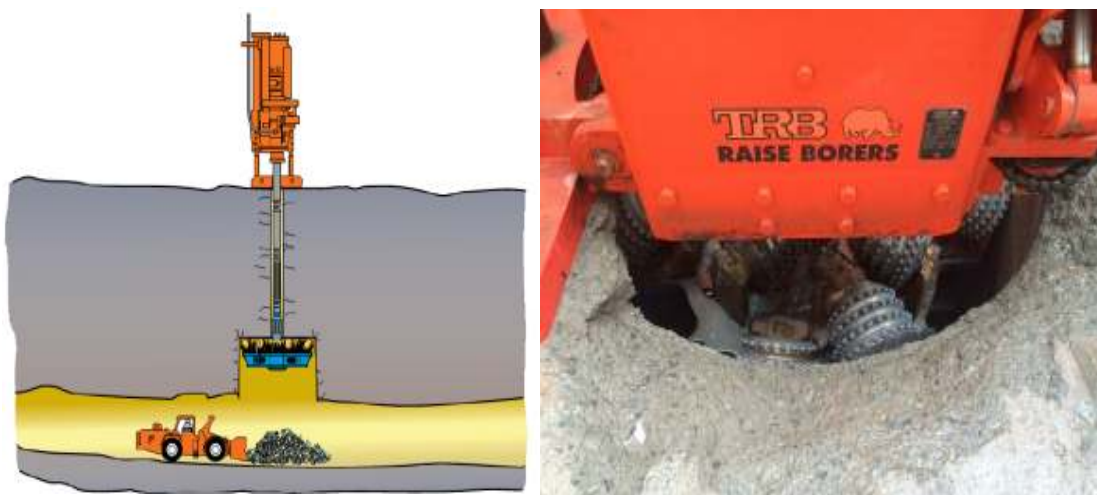


Figura 38 - Alargamento do furo com a Raise Borer

Os detritos que se depositam, por gravidade, no nível inferior (base do poço), eram removidos através de pá carregadora para um *dumper*, que os transportava para o exterior. Sempre que se realizou esta operação, a máquina ficava em *stand-by*, de forma a proceder à remoção do escombros do interior do túnel em segurança.

Depois de concluída esta operação, o poço foi alargado para um diâmetro de oito metros, com uso a explosivos. Para isso todo o acesso dos trabalhadores ao interior dos poços, era efetuado através de uma plataforma suspensa por um sistema dedicado (pórtico) – Figura 39, com guinchos elétricos e as máquinas de perfuração e limpeza de escombros recorriam a uma grua móvel.



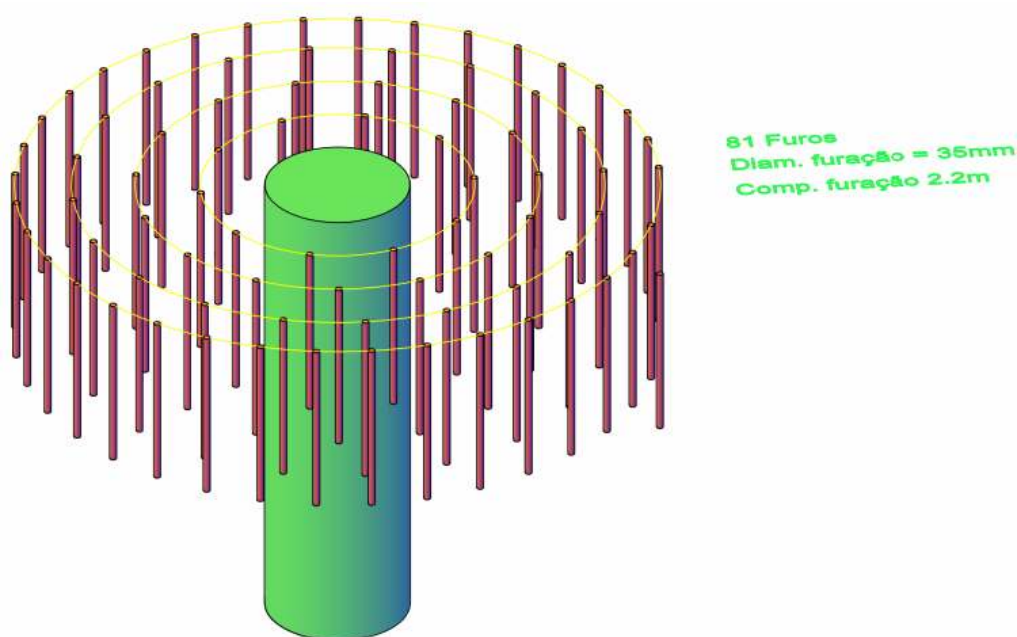
Figura 39 - Sistema de elevação de pessoas (pórtico)

As técnicas de escavação com emprego de explosivos têm como objetivo a obtenção de seções escavadas com as características indicadas no projeto, dentro das tolerâncias permitidas, e preservando ao máximo as condições geológicas dos maciços atravessados.

Os planos de fogo foram elaborados em função das características geotécnicas do maciço a atravessar de modo a não haver sobrecavações significativas.

O maciço foi perfurado verticalmente, de acordo com um plano de fogo previamente definido – Figura 40, e marcado com ajuda da equipa de topografia, onde se estabelece a localização, profundidade e o diâmetro dos furos.

Para a execução desta atividade foi utilizado um carro de perfuração, instalado no poço através da grua – Figura 41. Este equipamento executa a perfuração por via húmida ou seca, com recurso a água ou utilizando dispositivo de aspiração de partículas, sendo na fonte eliminadas as poeiras/partículas resultantes desta atividade.



Fonte: Adaptado EPOS, 2014

Figura 40 - Pega de fogo tipo para os poços

Durante a operação de perfuração, o equipamento tinha de estar devidamente estabilizado e travado devendo os trabalhadores manter-se fora do raio de ação dos equipamentos e seus componentes móveis. O carregamento da pega foi realizado com recurso a explosivos, vulgarmente designado por riogel “encartuchado”, em embalagem de diâmetro compatível com o diâmetro dos furos. Os detonadores utilizados foram todos do tipo não elétrico.



Figura 41 - Equipamento de furação usado nos poços

A remoção de escombro para a galeria inferior foi garantida por uma mini escavadora - Figura 42, descida até à plataforma de trabalho no interior do poço, que movimentava o material que não caiu por ação da gravidade, aquando da detonação da pega.



Figura 42 - Mini-giratória usada para a remoção do escombro

Os detritos que saíam por gravidade para o nível inferior foram retirados com recurso a uma pá carregadora, tendo sido carregados diretamente para *dumpers*.

Depois de realizada a remoção do escombro era necessário o apoio da geologia para efetuar a classificação geotécnica de cada avanço e se adequar o sustimento de acordo com as indicações do projeto. O único sustimento preconizado para os poços era a utilização de betão projetado com fibras metálicas, dependendo a espessura de betão a aplicar do zonamento geotécnico aferido.

A aplicação do betão projetado foi realizado através de uma bomba de betão colocada na superfície, que era conduzido para a base do poço através de uns tubos ancorados à parede deste. Dentro do mesmo, a distribuição/aplicação do betão projetado foi realizada com auxílio da mini escavadora, que foi modificada na zona do balde para se produzir o mesmo efeito que um unidade automatizada para de projeção.

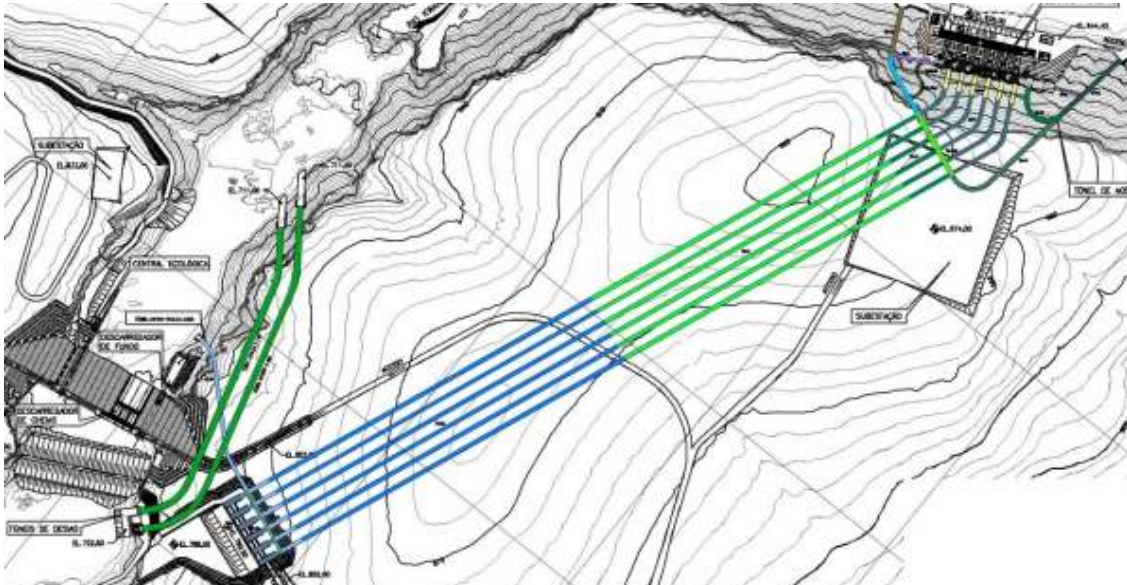
As ligações do ar comprimido e do aditivo de betão encontravam-se conectadas ao balde e a mini giratória, com a sua manobrabilidade, permitia efetuar o trabalho pois o peso dos tubos, juntamente com o peso do betão, tornava o processo impraticável para um ser humano.



Figura 43 – Aspetos da projeção de betão nos poços

Todos os seis poços foram escavados utilizando este método, com excelentes resultados e dentro dos prazos pretendidos, e sendo um trabalho com um risco considerável, não houve nenhum incidente grave durante todo o tempo de execução.

Os túneis executados apresentavam uma seção transversal de escavação com 104 m², decorrendo a escavação dos seis túneis em simultâneo - Figura 44, sendo mantido um desfasamento longitudinal que permitia assegurar a estabilidade do maciço



Fonte: Odebrecht, 2016

Figura 44 – Traçado em planta dos túneis (sem escala)

A escavação foi executada em seção plena, passando a ser realizada em duas fases na ocorrência de maciço de pior qualidade, o que não veio a verificar-se.

O desmonte em rocha foi realizado com recurso a explosivos, sendo a furação das pegas realizada com um Jumbo de perfuração de três braços - Figura 45, cada um deles incorporando

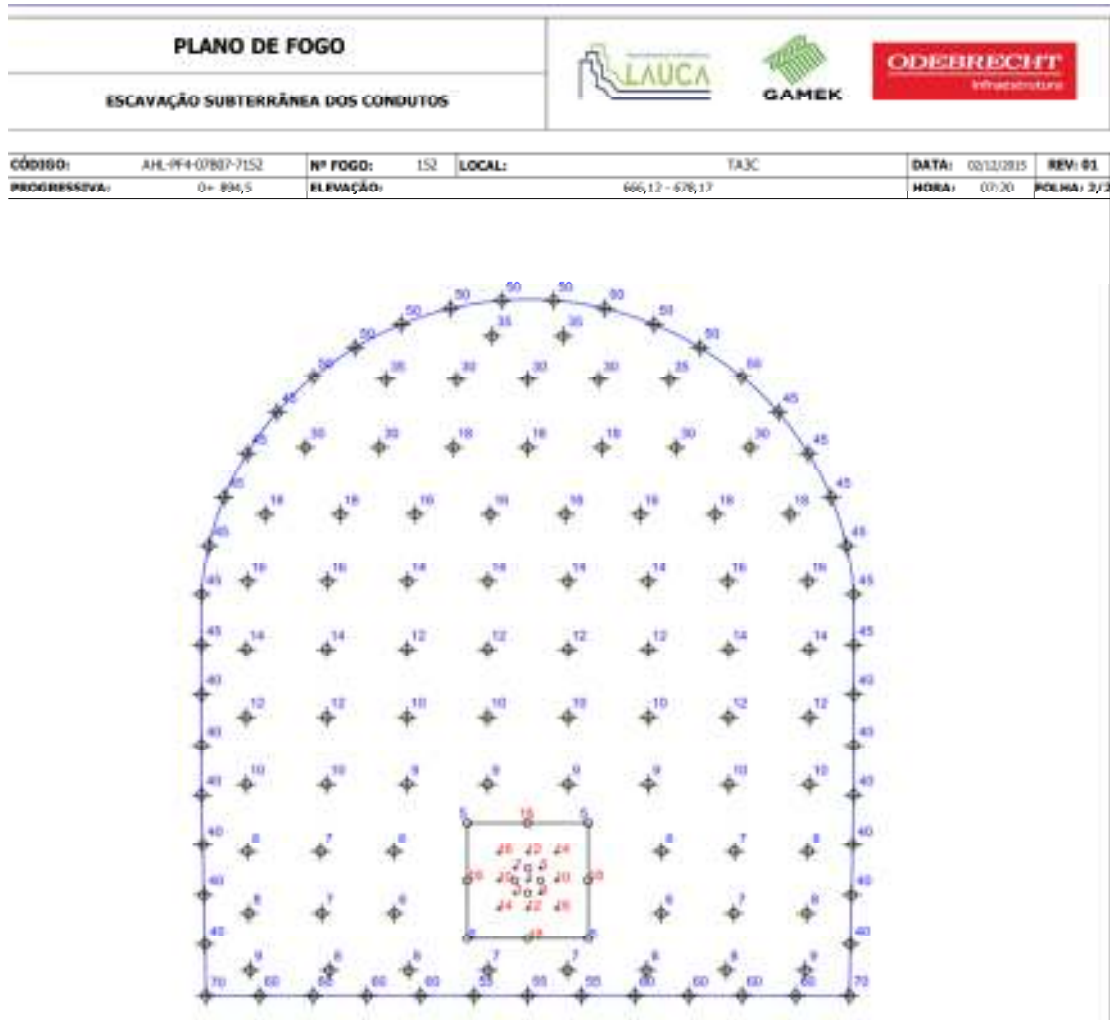
uma barrena com 6 m de comprimento, permitindo avanços de 5,5. No início da empreitada, o explosivo utilizado foi do mesmo tipo do utilizado nos poços, tendo sido substituído por emulsão bombeada por questões de operacionalidade.

As operações de um pedido de explosivo em Angola são semelhantes às de Portugal, com a exceção que havia um paiol em obra: O autor tinha de ser acompanhado pelo polícia que se encontrava no estaleiro e ir sempre com ele ao paiol recolher o material necessário e realizar a devolução das sobras provenientes do túnel.



Figura 45 - Jumbo de furação Atlas W3C.

O maciço rochoso, como habitualmente, foi perfurado de acordo com um plano de fogo onde se estabelecia a localização, profundidade e o diâmetro dos furos. Os detonadores utilizados nas escavações eram do tipo não elétrico, abrangendo uma larga gama de tempos de disparo. A iniciação foi realizada com recurso a detonador elétrico.



Fonte: EPOS, 2014

Figura 46 - Plano de fogo tipo nos túneis de adução do Ah - Láuca.

O escombros foi retirado com o auxílio de pás carregadoras diretamente para *dumpers* nas frentes de trabalho, que depois faziam o transporte para uma escombreira provisória que se encontrava no exterior.

Depois de armazenado, esse material era posteriormente carregado com uma giratória em camiões basculantes de uma firma chinesa para a escombreira principal, que se encontrava a 4,5 km de distância.



Figura 47 - Limpeza do escombros usando dumpers e pás Volvo

Para assegurar os bons índices de produtividade e de segurança na escavação, era necessariamente obrigatório o auxílio da geologia para realizar o zonamento geotécnico e aferir a aplicação do sustimento. O sustimento preconizado para cada zona geotécnica foi aplicado em cada avanço de escavação, imediatamente após a sequência: desmonte com explosivos ou escavação mecânica, ventilação, limpeza e saneamento do maciço; em função da zona geotécnica atravessada e de acordo com as indicações do projeto – Figura 48. Como se verifica desta figura e de acordo com a classificação geológico-geotécnica do maciço, foi aconselhada a aplicação dos seguintes tipos de sustimento:

- Ancoragens passivas (parafusos de heliação com resina);
- Betão projetado;
- Drenos.

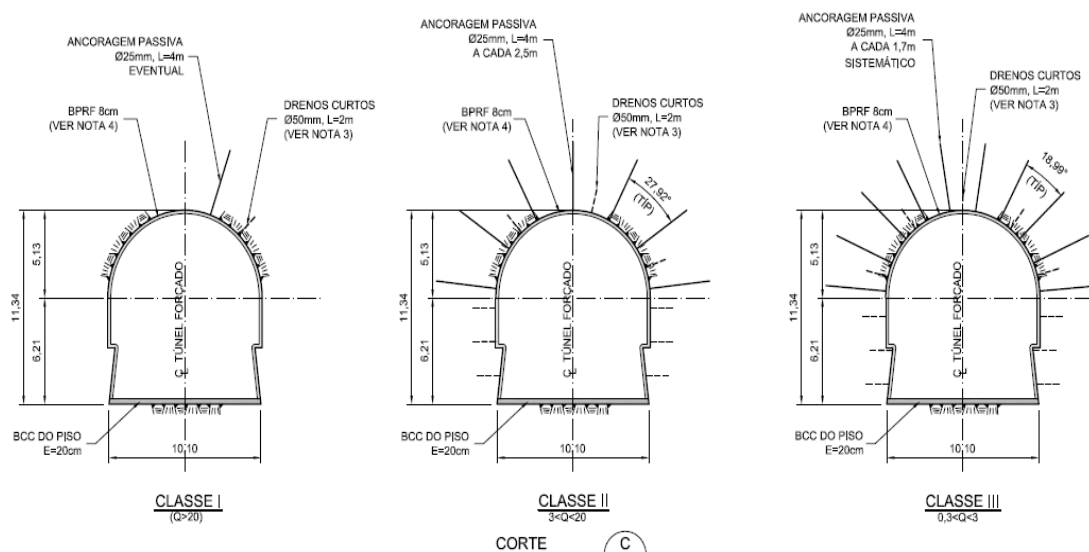


Figura 48 - Sustimento tipo aplicado nos túneis de adução da Laúca

Antes de a geologia aferir o tipo de zonamento geotécnico, era necessário proceder ao saneamento dos hasteais e abóboda da frente de trabalho para se garantir a total segurança do geólogo.

Realizado o zonamento e de acordo com o projeto, efetuava-se então a aplicação de betão projetado, recorrendo para isso ao equipamento existente em obra, nomeadamente um unidade automatizada para de projeção da marca *Putzmeister* - Figura 49. Tal permitia executar a projeção a partir do solo, conforme procedimento descrito na seção anterior.



Figura 49 - Unidade automatizada para de projeção

Após a aplicação, a frente estava disponível para a entrada do Jumbo e para se voltar a perfurar a rocha e avançar até à chegada do objetivo principal, que era a conexão entre os tuneis.

2.4.3 Outros aspetos

No geral, tratou-se de uma empreitada de que o autor se orgulha de ter feito parte e que demonstra a capacidade das empresas portuguesas de trabalhar no estrangeiro, com resultados excelentes. Mas o que mais surpreendeu, foi a qualidade imposta pela Odebrecht no estaleiro social construído para mais de sete mil pessoas.

O estaleiro – Figura 50, continha duas cantinas que serviam mais de sete mil refeições diárias e pode-se tentar imaginar a logística necessária para que tal acontecesse. Integrava também um ginásio, com todas as máquinas necessárias para se fazer todo o tipo de exercícios e para adeptos do desporto, tinha três relvados sintéticos e um *court* de ténis; uma zona de lazer, onde se podiam visualizar os filmes mais recentes, e um mini-mercado, com todos os produtos possíveis, mas que era abastecido regularmente; semanalmente realizava-se ainda uma pequena feira, com produtos angolanos.



Figura 50 - Vista do estaleiro social do Ah-Laúca.

Nesta pequena cidade, a rede de água era abastecida pela água do Rio Kwanza, diretamente, e para uma estação de tratamento, que depois era distribuída para o estaleiro social, para ser consumida ou para banhos.

Para os efluentes foram feitas duas grandes barragens para onde os detritos eram encaminhados e para os resíduos sólidos domésticos foi executado um aterro sanitário, onde se efetuava a separação do material que poderia ser reciclado.

Tratava-se de um estaleiro com muito boas condições e com uma logística invulgar, concretizado apesar da particularidade da envolvência onde se encontrava.

Foi uma empreitada que exigiu sacrifício do autor, mas que lhe permitiu contactar com diferentes culturas, pois sendo a Odebrecht uma empresa internacional, os seus trabalhadores eram também de diferentes nacionalidades.

A componente da segurança do trabalho em obra era levada muito a sério, pois o trabalhador angolano possui fraca experiência em trabalhos de construção civil; por isso e em todas as passagens de turno, havia uma palestra sobre uma temática de trabalho. Esta era acompanhada pelo autor, mas era dada a liberdade ao trabalhador para falar sobre qualquer assunto que ele achasse importante. Se porventura, tivesse havido um acidente, a temática era a discussão desse acidente e das suas eventuais causas, bem como evitar a sua repetição.

Foi através deste tipo de palestras e o constante acompanhamento realizado, que o autor conjuntamente com a sua equipa, garantiu que não houvesse um acidente grave em obra, o que é notável devido aos riscos que o trabalho subterrâneo acarreta, e também devido ao número significativo de intervenientes sem qualquer tipo de experiência neste tipo de trabalhos.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante a sua atividade profissional, o autor conseguiu conquistar conhecimentos importantes que lhe permitiram abordar, com sucesso, a problemática que a escavação em subterrâneo apresenta, pois apesar de todos os estudos geotécnicos realizados, estes não permitem caracterizar geológica e geotecnicamente, com a necessária precisão, o maciço a atravessar ao longo de uma ampla extensão linear. Isto fez com que ele compreendesse, desde cedo, a importância da adequada avaliação do terreno em cada avanço, pois permite tomar decisões importantes, que proporcionam evitar gastos adicionais em obra e garantir a respetiva segurança. Também verificou que as pessoas são um fator relevante e que, às vezes, é preciso saber compreender os seus problemas e, também, as suas limitações, o que só pode ser benéfico para o desenrolar adequado dos trabalhos.

Os primeiros meses na profissão foram relevantes, pois através da autoformação adquiriu conhecimentos relativos, quer a todo tipo de riscos associados aos trabalhos subterrâneos, quer às diversas máquinas utilizadas nestas empreitadas. Efetuou algumas formações complementares em segurança, que lhe permitiram obter a adequada sensibilidade para este assunto.

Obteve a Cédula de Operador de Explosivos em 2008, permitindo-lhe manusear um material que é fundamental no desenrolar das escavações, apesar dos seus riscos, sendo às vezes a única solução para se poder realizar o desmonte dos terrenos.

Após a conclusão do primeiro projeto associado a explorações mineiras e devido a dificuldades financeiras do dono de obra, o autor deslocou-se para a ilha da Madeira, onde adquiriu competências em métodos de impermeabilização de túneis e, também, nos processos de betonagem com utilização de moldes com 6 e 12 m. Foi uma experiência enriquecedora, que lhe permitiu ainda expandir os seus conhecimentos. Apesar de ainda haver trabalhos em curso naquela ilha, a sua presença foi necessária para começar um projeto desafiante: o Túnel do Marão. Foi a primeira obra que iniciou e onde aprendeu novas metodologias que, em mineração, não se usam. Idealizar e montar um estaleiro, constituir equipas de raiz, e conseguir por a estrutura a produzir, é desafiante, mas os frutos colhidos desse esforço são recompensadores. Aqui, o autor ficou sempre responsável pelos materiais consumidos em obra, tendo garantido que não faltasse nada, mas assegurando sempre que não houvesse também em excesso, pois isso representaria um custo adicional para a obra.

Apesar disso e de todo o esforço despendido, não foi permitido ao autor acabar esta empreitada, devido a problemas financeiros do consórcio e à conjuntura nacional. Devido à crise que afetou, desde 2011, a construção civil em Portugal, as empresas portuguesas tiveram de recorrer, cada vez mais, a trabalhos fora do território nacional, e os seus trabalhadores também acompanharam esse trajeto. Foi quando o autor teve a sua primeira experiência como expatriado, nos túneis do metro na Argélia. Foi um pequeno ensaio para o que estava destinado em seguida, e que permitiu compreender e avaliar as dificuldades que as pessoas têm em trabalhar num país estrangeiro, onde os costumes são diferentes.

Na sequência surgiu o maior desafio que lhe foi proposto: a realização do circuito hidráulico no aproveitamento hidroelétrico de Laúca, em Angola. Começar uma obra por si já é difícil, mas em Angola, outro ambiente multicultural, requer paciência e muito engenho. Mas todas estas dificuldades permitiram ao autor aperfeiçoar as suas aptidões como Engenheiro Geólogo, e como ser humano, tendo verificado que, às vezes, há que ter paciência e realizar o papel de professor, pois existem culturas menos desenvolvidas onde é necessário ajudar a completar a formação das pessoas para obter um desempenho adequado em obra.

Todas estas experiências profissionais permitiram ao autor contatar com diversos especialistas em geotecnia de construções em subterrâneo, trabalhar em equipas pluridisciplinares e internacionais, e obter um conjunto de conhecimentos e competências adequadas a que esteja preparado para enfrentar os desafios futuros que se lhe apresentem, num mercado de trabalho cada vez mais exigente e internacional.

Apesar de todos estes anos de experiência no mundo do trabalho subterrâneo, nunca lhe foi possível deixar de ser diretor de obra adjunto e ficar como principal responsável de uma grande obra, pois as obras que existem são poucas e as pessoas com maior experiência na empresa que integra, a EPOS, são relativamente novas, o que praticamente impossibilita o desejo do autor de poder ser diretor de uma grande obra.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bastos, M. J. N. (1998) – A geotecnia na conceção, projeto e execução de túneis em maciços rochosos. Lisboa: IST. Tese mestrado em engenharia civil.

CBPO/ Ferraz Figueiredo (1994) - NATM – Novo Método Austríaco de Execução de Túneis.

EPOS (2014) – Execução de escavações subterrâneas – Relatório confidencial.

Infratúnel (2009) – Instrumentação do Túnel do Marão – Especificação técnica de Obra – Relatório confidencial.

Intertechne Consultores S.A (2014) - Estudo do Caso – Hidroelétrica de Laúca – Angola. Rio Janeiro, Brasil.

Galabru, P (1974) – Cimentaciones y Túneles. Barcelona, Espanha. PP289 – 356.

Jimeno, C. L. (2001a) – Ingeo Túneles Libro 2. Madrid. PP 185 – 229.

Jimeno, C. L. (2001b) – Ingeo Túneles Libro 3. Madrid. PP 13 – 55.

Jimeno, C. L. (2001c) – Ingeo Túneles, Libro 4. Madrid. PP 295 -302.

Jimeno, C. L. (2001d) – Ingeo Túneles, Libro 5. Madrid. PP 315 -330.

Rocha, M. (1981) – Mecânica de Rochas. Lisboa: LNEC.

NGI (2015) – Using the Q-System. Oslo. pp 32-40.

Pinto, T. A. (2010) – Construção e instrumentação dos túneis do Marão. Porto: FEUP. Tese de mestrado.

Pirites Alentejanas (2006) – Esquemas standard de sustimento - Relatório confidencial.

SIKA® (2005) - SIKA® Concrete HandBook. Zurich. pp 114 – 127.

TEIXEIRA, C., FERNANDES, A. P. e PERES, A. (1967) - Carta Geológica de Portugal na escala de 1/50.000, Notícia explicativa da folha 10-C PESO DA RÉGUA. Lisboa: Serviços Geológicos de Portugal.

WEBLIOGRAFIA

<http://www.duomin.pt/> Acedido em: novembro de 2016.

<http://www.mun-aljustrel.pt/> Acedido em: novembro de 2016.

<http://www.home.sandvik/en/> Acedido em: novembro de 2016.

<http://www.epos.pt/> Acedido em: novembro de 2016.

<http://www.rockmore-intl.com/Drifting-Tunneling.html> Acedido em: novembro de 2016.